DIE

NATURKRAEFTE

IN IHRER

WECHSELBEZIEHUNG.

POPULÆRE VORTRÆGE

VON

ADOLF FICK,
Professor der Physiologie in Würzburg.

WÜRZBURG.
Druck und Verlag der Stahel'schen Buch- und Kunsthandlung.
1869.

DIE

NATURKRAEFTE

IN IHRER

WECHSELBEZIEHUNG.

POPULÆRE VORTRÆGE

VON

ADOLF FICK

Professor der Physiologie in Würzburg.

WÜRZBURG.

Druck und Verlag der Stahel'schen Buch- und Kunsthandlung.

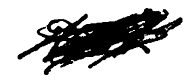
1869.

CLAUSIUS

in

Verehrung und Freundschaft

vom Verfasser zugeeignet.



Erste Vorlesung.

Meine Herren!

Seit das bunte Gewebe der Erscheinungen zum Gegenstande ernsten Nachdenkens gemacht ist, hat sich immer und immer wieder das Bedürfniss aufgedrängt, sich davon eine einheitliche Vorstellung zu machen, welche in den wechselvollen Erscheinungen bleibende, im Wesen unveränderliche Existenzen sieht, die nur ihre Zustände und Beziehungen zu einander und zu uns verändern.

Das Annehmen einer Materie überhaupt ist schon der erste Schritt zu einer solchen Vorstellung; denn unter Materie versteht man eben eine von unsern Empfindungen unabhängige beharrliche Substanz. Das eigentlich Beharrliche können aber nicht die endlich ausgedehnten Stücke der Materie sein, denn diese sehen wir ja jeden Augenblick zerstäuben und verfliegen, ohne eine unmittelbar sinnlich wahrnehmbare Spur zu hinterlassen.

Die Unvergänglichkeit der Materie ist eben keineswegs ein Erfahrungssatz, wie man wohl zuweilen behauptet hat. Der rohe Augenschein widerspricht diesem Satze täglich hundertmal und auch die eigentlich wissenschaftliche Erfahrung hat ihn noch nie bestätigt; denn so oft man auch bei chemischen Processen das Gewicht der Bestandtheile mit dem Gewichte der Verbindung verglichen hat, noch nie hat man vollkommene Uebereinstimmung gefunden. Hier schliesst aber jeder ohne Besinnen, dass eben kein Mensch eine absolut fehlerfreie Wägung ausführen kann und es fällt keinem ein, dass die Differenz durch ein Entstehen oder Vergehen von Materie bedingt sein könnte. — Dass Materie weder entstehen noch vergehen könne, ist ein in der Beschaffenheit unseres Verstandes begründeter a priori gewisser Satz, ähnlich, wie das Gesetz der Causalität, mit welchem er vielleicht sogar in engstem Zusammenhange steht. — In der Geschichte der Wissenschaft ist das Princip von der Constanz der Materie auch durchaus nicht als Erfahrungssatz zuerst aufgetreten, denn es ist bereits im

grauen Alterthum — zu einer Zeit wo man noch gar nicht maas und wog — von consequenten Denkern ausgesprochen. Sie haben auch schon ganz folgerichtig behauptet, jene unveränderlichen beharrlichen Existenzen, die unser Verstand zu fordern scheint, seien unendlich kleine oder besser ausdehnungslose Massen und ein endliches Stück Materie sei aus einer riesigen Anzahl solcher — „Atome“ — zusammengesetzt. Alle Veränderung in der Welt sei nur die Erscheinung von der Bewegung der Atome, die selbst nie eine Veränderung ihrer Beschaffenheit erleiden könnten.

Diese von griechischen Weisen vor mehr als 2000 Jahren in kühnem Ahnen ausgesprochene Behauptung zu einer streng erwiesenen Wahrheit zu machen — nichts anderes — ist das letzte Ziel der gesammten Naturwissenschaft.

Wohl zu keiner Zeit, die Zeiten Galileis' und Newton's nicht ausgenommen, hat die Wissenschaft nach diesem Ziele hin raschere Vorschritte gemacht als in der unsrigen. Es sind gerade die Untersuchungen der jüngsten Vergangenheit und Gegenwart über die Wechselbeziehungen der Naturagentien, welche den Gegenstand dieser Vorlesungen bilden sollen — es sind gerade diese Untersuchungen, welche am meisten beigetragen haben zu der Verallgemeinerung und Befestigung der Erkenntniss, dass alle Erscheinungen in Bewegungen der Atome ihren Grund und ihr Wesen haben und dass die Verschiedenheit der Erscheinungen nur darauf beruht, dass die Form und Art der Bewegungen in verschiedenen Fällen eine verschiedene ist.

Zwar ist wie schon gesagt dieser Gedanke so alt wie die occidentalische Philosophie und ist er als philosophisches Axiom seit den griechischen Atomistikern, seit Leucipp und Demokrit oft wiederholt ausgesprochen. Etwas anderes aber ist es diesen Gedanken in der strengen Form einer naturwissenschaftlichen Hypothese aussprechen und die Wege zu bahnen, auf denen er zu einer bewiesenen Theorie gemacht werden kann. In dieser Form ist der Gedanke erst in neuerer Zeit aufgetreten. Eine epochemachende Darstellung hat er namentlich gefunden in der kleinen aber gewichtigen und mit Recht berühmten Schrift von Helmholtz über die „Erhaltung der Kraft.“

Der eigentliche Angelpunkt dieser neueren Theorien von den Wechselbeziehungen der Naturkräfte ist die Lehre von der Wärme und ihren Beziehungen zu den andern Agentien, hauptsächlich zur mechanischen Bewegung, die Lehre, welche man kurz als die mecha-

nische Wärmetheorie zu bezeichnen pflegt. Diese Lehre ist nun durchaus neuesten Datums.

Einem deutschen Arzte, Julius Robert Meyer aus Heilbronn, gebührt unbestritten das Verdienst zuerst den Grundgedanken dieser Lehre bestimmt ausgesprochen zu haben und zwar sogleich begleitet mit praecisen quantitativen Entwickelungen. Seine erste Schrift von bloss 13 Seiten über diesen Gegenstand erschien im Maiheft des Jahrganges 1842 von den Annalen der Chemie und Pharmacie unter dem Titel „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur.“ Mit diesem Datum beginnt eine neue Epoche der Naturwissenschaft.

Bald nachher trat der englische Physiker Joule wie es scheint unabhängig von Mayer mit seinen grundlegenden experimentellen Bestimmungen im Gebiete der mechanischen Wärmetheorie auf die wir später noch zum Gegenstande genauer Besprechungen werden machen müssen.

Schnell hat sich aus diesen fruchtbaren Keimen eine ganze Disciplin in mathematischer Gestaltung entwickelt, an der nun eine grosse Zahl von hervorragenden Gelehrten arbeitet. Es ist mir vergönnt als den hervorragendsten Arbeiter auf diesem Gebiete einen Mann zu nennen, den wir mit Stolz zu den Unsern zählen, ich meine Clausius.

Die Beziehungen der Wärme also zu den übrigen Agentien der Natur, zum Licht, zur Elektricität, zur chemischen Verwandtschaft, und vor Allem zur mechanischen Gesammtbewegung ganzer Massen müssen wir zu unserem Hauptaugenmerk machen.

Die Wärme nimmt unter den Agentien der Natur fast möchte ich sag n eine centrale Stellung ein. Es findet wirklich in der ganzen Natur, in der unorganischen und in der organischen, kein Process statt, bei dem nicht die Wärme eine Rolle spielte, bei dem nicht entweder Wärme entstünde oder verschwände.

Diese hervorragende Stellung der Wärme unter den Agentien der Natur muss selbstverständlich mit dem Wesen der Wärme zusammenhängen und wenn wir sie begreifen wollen, müssen wir vor Allem uns vom Wesen der Wärme eine Anschauung zu verschaffen suchen.

Gestatten Sie mir hier, wo sich uns die erste Aufgabe stellt, gleich anzudeuten, welchen Plan ich mir für diesen ganzen Cyklus von Besprechungen vorgesetzt habe. Nachdem wir in der Wärme eine gewisse Form der Bewegung werden erkannt haben, müssen wir lernen Wärmemengen messen mit dem allgemeinen mechanischen Maasse

der Bewegung, d. h. wir müssen das „mechanische Aequivalent" der Wärme kennen lernen. An die Betrachtung dieser Grösse wird sich ungezwungen anschliessen die Erörterung des allgemeinen Principes von der Erhaltung der Kraft, der höchsten und fruchtbringendsten Generalisation, welche bis heute die gesammte Naturwissenschaft aufzuweisen hat. Von dem gewonnenen Standpunkte aus werden wir dann leicht übersehen, wie alle Processe der Natur nur darin bestehen, dass dieselbe Grundkraft der Bewegung immer neue und wieder neue Formen annimmt. Auf diesem Standpunkte wird die Wechselbeziehung der verschiedenen Agentien, der Wärme, des Lichtes, der Elektricität, des Magnetismus, der chemischen Verwandtschaft, der Schwere und der mechanischen Bewegung überhaupt mit wenigen Worten principiell festzustellen sein. Ist dies geschehen, dann wollen wir der Transformation der Kräfte noch etwas genauer nachgehen, wie sie sich gestaltet auf den beiden interessantesten Schauplätzen: im Mikrokosmos unseres eigenen Leibes und im Makrokosmos des Weltgebäudes.

Suchen wir also nunmehr eine praecise Antwort auf die Frage: was ist die Wärme? Wenn uns dies gelingt, dann wird es uns ein leichtes sein die andern Aufgaben zu lösen, die wir uns stellten.

Dass man früher die Wärme für einen Stoff hielt, ist Ihnen bekannt. Ich werde mich bei den Consequenzen dieser Ansicht und bei ihrer ausdrücklichen Widerlegung nicht aufhalten, da sich durch die positiven Aufstellungen, zu denen wir kommen werden, die Widerlegung von selbst ergibt.

Die ursprüngliche Bedeutung des Wortes Wärme ist selbstverständlich keine andere als eine gewisse Empfindung, denn die Empfindungen sind ja überall nur das ursprünglich Gegebene. Wenn wir also die Natur des Agens erforschen wollen, das in der Regel die Empfindung der Wärme verursacht, und auf welches darum der Name dieser Empfindung geradezu übertragen ist, dann müssen wir die Umstände vergleichen, unter welchen die Empfindung der Wärme entsteht.

Bekanntlich kann das Gefühl von Wärme hervorgerufen werden durch Berührung der Haut mit jedem beliebigen Körper, mit einem Stück Eisen, einem Stück Holz, einer Wassermasse etc. etc., nur müssen diese Körper in einem gewissen Zustande sein, sie müssen, wie man sich auszudrücken pflegt, eben warm sein.

Es liegt also nicht in der Natur des Körpers, derselbe Körper kann bald warm bald kalt sich anfühlen, unsere Frage schiebt sich weiter hinaus: wie kann man einen Körper in den Zustand bringen, in welchem er, mit unserer Haut in Berührung gebracht, das Gefühl der Wärme erzeugt?

Ein Stück Eisen beispielsweise geräth in den fraglichen Zustand auf anscheinend äusserst verschiedene Arten. Legen wir es im Sommer in den Mittagssonnenschein, so wird es heiss, dass wir uns fast verbrennen, wenn wir es berühren. Das Stück Eisen wird aber auch warm, wenn wir es in verdünnte Schwefelsäure legen, worin es sich sofort anfängt aufzulösen. Es wird drittens auch warm und kann recht heiss werden, wenn wir es mit einigem Drucke auf einem Holz oder Stein reiben. Können doch auf diese Art sogar feine Stahlsplitter zum hellen Glühen kommen, wie man in der allbekannten Manipulation des „Feuer-Schlagens“ mit Stahl und Feuerstein sieht.

Dieser dritten Art, einen Körper in den Zustand zu bringen, in welchem er das Gefühl der Wärme verursacht, wollen wir zunächst etwas näher nachsehen. Malen wir uns einen ganz konkreten Fall aus. Denken wir uns ein Stück Eisen an der unteren Fläche eines sehr schweren Steines befestigt. Nun wollen wir den Stein-Block auf einer schiefen Ebene von Stein oder Holz mit rauher Oberfläche herab rutschen lassen, so dass das Eisenstück auf derselben schleift. Das untere Ende der schiefen Bahn soll beispielsweise 10 Meter tiefer liegen als ihr Anfang. Wenn Sie sich nur daran erinnern, wie der eiserne Reif um ein gehemmtes und am Boden schleifendes Wagenrad sich stark erhitzt, so werden Sie zugeben, dass auch in dem von uns gedachten Falle das an der schiefen Ebene streifende Eisenstück sich nachher warm anfühlen, dass es warm sein wird, unter Umständen vielleicht sogar sehr heiss.

Dass dieser Vorgang einen Stoff in das Eisenstück hineingesaugt haben sollte, der vorher anderswo gewesen wäre — wie es die materielle Wärmetheorie erklären müsste — daran kann doch kaum ernstlich gedacht werden.

Dahingegen muss unser Vorgang **Bewegung** erzeugen. In der That, hätten wir unserem Steinblock die Gestalt einer glatten Kugel gegeben und hätten ihn dieselbe schiefe Ebene mit glatter Oberfläche herabrollen oder hätten wir ihn von derselben Höhe herab frei durch die Luft fallen lassen, so wäre er bekanntlich mit einer bedeutenden Geschwindigkeit unten angekommen, bei der be-

stimmt vorausgesetzten Fallhöhe von 10m mit einer Geschwindigkeit von etwa 14m per Sekunde.

In unserem erstgedachten Falle dagegen, wo wir ihn auf einer rauhen Bahn herabrutschen liessen, kam er mit einer ganz unbedeutenden Geschwindigkeit, so zu sagen in Ruhe unten an. Sollte nun hier die Bewegungsursache ohne Wirkung geblieben sein?

Es ist ja doch im Allgemeinen Bewegungsursache, dass ein Körper einer ihn ziehenden Kraft Folge leistet, dass z. B. ein schwerer Körper wie unser Steinblock sich dem ihn anziehenden Erdkörper nähert, d. h. der ihn ziehenden Schwerkraft Folge giebt. Sollte es von der Beschaffenheit der Bahn abhängen, ob diese Bewegungsursache wirkt oder nicht? Sollte auf einer glatten Bahn die Bewegung erzeugt werden, auf einer rauhen Bahn nicht? Dies kann kein klar Denkender zugeben. Hat doch die Schwerkraft an der Masse beidemale genau dasselbe gethan, sie nämlich durch 10 Meter Höhe gezogen. Es muss also auch beidemale derselbe Bewegungseffekt erzielt sein. Wir haben denselben in der vorhin angegebenen Form, einer grossen Geschwindigkeit der ganzen Masse sichtbar vor Augen, wenn dieselbe 10 Meter hoch frei herabgefallen oder 10 Meter hoch ohne Reibung schräg herabgerollt ist.

In einem solchen Falle hat sich dann aber auch kein Theil der Masse erwärmt. Ist sie dagegen auf rauher Bahn herabgerutscht, dann tritt der Bewegungseffekt nicht in einer Gesammtbewegung der Masse hervor, dann ist derselbe zum grossen Theil ausgeübt auf die Theile der Masse allein, welche mit der rauhen Bahn unmittelbar in Berührung waren, die wir uns von Eisen dachten. Die nicht sichtbare Bewegung der kleinsten Theilchen, welche hier das Werk der Schwerkraft ist — diese Bewegung ist die in dem Eisenstück entwickelte **Wärme.**

Der Zustand, welcher das Eisenstück in Stand setzt, bei Berührung mit unserer Haut das Gefühl der Wärme zu verursachen, dieser Zustand ist ein Bewegungszustand.

Dass die Bewegung nicht als solche sichtbar ist, kann keinen stichhaltigen Einwand gegen diese Annahme abgeben. Sehen können wir eine Bewegung als solche nur in den Fällen, wo die sämmtlichen Theilchen einer grössern Masse sich mit gleicher Geschwindigkeit im selben Sinne bewegen, wenn z. B. ein Stein durch die Luft fliegt oder ein Schiff über's Wasser hinfährt. Bewegen sich aber die kleinsten Theilchen eines Körpers nur in ganz kleinen Bahnen hin und her oder im Kreis herum jedes Theilchen für sich, so dass der

Körper im Ganzen an Ort und Stelle bleibt, dann werden wir nicht erwarten dürfen diese Bewegung mit dem Auge stets als solche wahrzunehmen. So nimmt man beispielsweise nicht die Bewegung der Luft oder Wassertheilchen wahr, wenn Schallwellen durch das Medium fortschreiten.

Wenn wir noch einmal den Gedankengang kurz zusammenfassen wollen, der in der Begründung unserer Behauptung über das Wesen der Wärme durch das ausgeführte Beispiel liegt, so ist es dieser: Wir sehen Wärme erzeugt durch Bewegungsursachen und zwar in Fällen wo diese Ursachen wenig oder gar keine sichtbare Bewegung ganzer Massen bewirkten, also muss in der Wärme der Bewegungseffekt dieser Ursachen versteckt liegen.

Eine solche Betrachtung ergab sich von selbst in unserem Beispiel, wo die Wärme entstand, indem eine Masse von der Schwere abwärts gezogen wurde. Ist diese Betrachtung aber auch anwendbar auf die Entstehung der Wärme durch chemische Processe? Wenn wir das Stück Eisen in verdünnte Schwefelsäure werfen und es dadurch warm wird, ist dann auch die Wärme als Wirkung von Bewegungsursachen anzusehen? Diese Frage haben wir mit einem ganz entschiedenen Ja! zu beantworten und zwar ist der Hergang gar nicht so grundverschieden von dem vorhin beschriebenen, wie es auf den ersten Blick aussieht. Daran ist ja nicht zu zweifeln, dass die chemische Verbindung das Resultat anziehender Kräfte zwischen den kleinsten Theilchen der sich verbindenden Stoffe ist. Ohne anziehende Kräfte würden die Stoffe getrennt bleiben. Die Theilchen müssen dabei also auch wenn sie dem Zuge ihrer gegenseitigen Anziehung Folge geben, in Bewegung gerathen, so gut wie eine schwere Masse in Bewegung geräth, wenn sie dem Zuge der sie anziehenden Erde folgend — sei es senkrecht, sei es schräg — herabfällt.

Könnten wir die Auflösung eines Stückes Eisen in verdünnter Schwefelsäure betrachten mit Augen welche sich zu den stärksten jetzt verfertigten Mikroscopen etwa verhielten wie diese zu unsern wirklichen Augen, dann würden wir Zeugen eines ebenso verwickelten als stürmischen Schauspieles sein. Wir würden Schaaren vnn grösseren und kleineren Massen-Molekulen vor uns sehen, alle mehr oder weniger in Bewegung, aber wir würden bemerken, dass die Bewegung während des Processes immer heftiger und heftiger würde, indem sich die Moleküle aus der Schaar der kleineren, nämlich der Sauerstoff- und Schwefelmoleküle, angezogen von den grösseren

en Eisenmolekülen) gleichsam auf diese herabstürsten. ..nd die Eisenmoleküle selbst kämen dadurch in immer heftigere Bewegung, die den Anblick eines stürmischen Durcheinanderwirbelns bieten würde.

Wenn wir die Sache so betrachten — und wir dürfen wohl behaupten, dass diese Betrachtungsweise mehr als eine blosse Vermuthung ist — dann ist die Analogie mit einer von der Schwere zur Erde herabgezogenen und dadurch beschleunigten Masse augenfällig. Der Unterschied besteht nur darin, dass in unserem ersten Beispiele die Masse des Steines gegen die Masse der Erde verschwindend klein war und dass daher die Erde keine merkliche Bewegung gegen den Steinblock, sondern nur dieser eine Bewegung gegen jene annimmt. Bei den Molekülen des Eisens, des Schwefels und des Sauerstoffes ist der Unterschied der Masse nicht so gar gross und es nehmen daher die einen wie die andern an der Bewegung Theil. Ich habe um an das frühere Beispiel mehr zu erinnern, absichtlich im ersten Ausdruck den Unterschied der Massen übertrieben betont. In Wahrheit stürzen nicht sowohl die Sauerstoff- und Schwefelmoleküle auf die Eisenmoleküle herab, als dass vielmehr diese Moleküle verschiedener Gattung gegenseitig auf einander losstürzen und die Geschwindigkeit aller wird bei diesem Akte beschleunigt.

Wiederum Alles erwogen, können wir mit voller Bestimmtheit sagen: eine chemische Verbindung wie die des Eisens mit der Schwefelsäure ist eine Bewegungsursache in derselben Weise wie die Annäherung eines schweren Körpers an die Erde Bewegungsursache ist. Die Wirkung dieser Ursache ist die beim Process auftretende Wärme und diese erscheint also wiederum als nichts Anderes, denn als eine besondere Art der Bewegung.

Prüfen wir endlich das erste der drei Beispiele von Vorgängen durch welche ein Körper in den Zustand gebracht wird in welchem er, mit der Haut in Berührung gebracht, ein Wärmegefühl verursacht. Das jedermann bekannte Beispiel bestand darin, dass wir ein Stück Eisen dem Sonnenschein aussetzten. Die Physik hat schon längst über allen Zweifel festgestellt, dass Sonnenschein nichts anderes ist als Bewegung und zwar die wellenartig sich fortpflanzende oscillatorische Bewegung der kleinsten Theilchen eines überall verbreiteten feinen elastischen Mediums, des sogenannten Aethers.

Wir müssen hier von vorn herein Missverständnissen begegnen, die durch eine häufig vorkommende, aber eigentlich missbräuchliche Verwendung des Wortes Wärme verursacht werden könnten, und müssen

zu dem Ende die Art der Bewegung, welche wir Sonnenstrahlung nennen, ein wenig näher betrachten. Bekanntlich nennt man einen Theil der Sonnenstrahlen Wärmestrahlen und einen andern Theil derselben Lichtstrahlen. Dies könnte die Vorstellung erwecken als ob die Bewegung, welche jene Strahlen bildet, dieselbe Art von Bewegung wäre, in welcher die Theilchen eines warmen Körpers begriffen sind. Diese beiden Arten der Bewegung haben nicht mehr und nicht weniger mit einander gemein wie etwa Wärme und Schall, nämlich beide Agentien sind Bewegungsarten. Man wäre gewiss gerade so berechtigt, die mit dem Namen des Schalles bezeichnete Bewegungsart „strahlende Wärme" zu nennen, als man berechtigt ist jenen Antheil der Sonnenstrahlung mit diesem Namen zu belegen.

Der eigentliche Beweis für diese Behauptung wird sich erst im weiteren Verlaufe unserer Betrachtungen ergeben, wenn wir festgestellt haben, was für eine Art der Bewegung es eben ist, die wir im eigentlichen Sinne des Wortes Wärme nennen. Für heute mag es genügen, den schon längst in der Physik streng erwiesenen Satz in Erinnerung zu bringen, dass die „strahlende Wärme" genannte Bewegungsform in allen wesentlichen Stücken identisch ist mit derjenigen Bewegungsform, welche wir Licht nennen. Der Unterschied ist von derselben Ordnung wie der zwischen rothem Licht und blauem Licht. Er kommt nämlich auf folgendes hinaus: Die Aethertheilchen oscilliren, wenn eine Sonnenstrahlung über ihren Ort geht, zu gleicher Zeit mit verschiedener Frequenz. Jede dieser Partialoscillationen gehört einem besonderen Strahle an und man kann bekanntlich diese verschiedenen Strahlen durch mehrere Mittel, unter andern durch Brechung in einem Prima von einander trennen, so dass sie divergiren, so dass jeder Strahl von einer besonderen Schwingungszahl einen besondern Weg verfolgt. Es ist nun ebenfalls bekannt, dass nur diejenigen Sonnenstrahlen das Auge des Menschen afficiren und Lichtempfindung darin verursachen, welche einer Schwingungszahl von mehr als etwa 450 Billionen in der Sekunde entsprechen. Nur diese Strahlen nennt man daher Lichtstrahlen Diejenigen dagegen, welche einer kleineren Schwingungszahl entsprechen, (und solche Strahlen sind in der Sonnenstrahlung in grosser Stärke vorhanden,) können die Netzhaut des menschlichen Auges nicht erregen, man nennt sie Wärmestrahlen. Objectiv betrachtet sind diese Strahlen aber ganz genau so beschaffen wie die Lichtstrahlen. Auch für die übrigen Sinne besteht subjectiv kein Unterschied zwischen diesen beiden Arten von Strahlen. Insbesondere

ist es keineswegs eine ausschliessliche Eigenthümlichkeit der sogenannten Wärmestrahlen, dass sie unsere Haut treffend sogleich das Gefühl der Wärme hervorrufen, dies thun die Lichtstrahlen wenn man sie aus dem Sonnenschein isolirt und gehörig intensiv einwirken lässt, gleichfalls. Beide Strahlenarten thun es aber nur mittelbar indem sie in der Oberhaut erst eigentliche Wärme erzeugen.

Gerade dieser Vorgang war es, welcher uns auf die Abschweifung geführt hat, wenden wir ihm wieder unsere Aufmerksamkeit zu.

Die Schwingungen der Aethertheilchen pflanzen sich, wo kein Hinderniss ist, fort, d. h. die Bewegung der einen Schicht wird zur Ursache für die Bewegung der folgenden u. s. w. Wenn aber Körper von gewisser Beschaffenheit, die man „Undurchstrahlbarkeit" am allgemeinsten nennen könnte, auf den Weg der Strahlen kommen, dann wird die Bewegung, die sich zur Oberfläche des Körpers fortpflanzt, dazu verwendet, die ponderabelen Theilchen des letzteren in Bewegung zu setzen, und indem sich immer neue und neue Schwingungen dahin fortpflanzen wird die Intensität der Bewegung der ponderabelen Theilchen unseres Körpers immer grösser und grösser, aber die Bewegung wird nicht mehr in regelmässigen Wellen weiter fortgepflanzt.

Die soeben vorausgesetzte Eigenschaft eines Körpers, die Undurchstrahlbarkeit, muss natürlich wenn sie überall existirt, bedingt sein durch die Beziehungen zwischen den ponderabelen Theilchen und den Aethertheilchen in dem Körper, mit einem Worte, durch das molekulare Gefüge des Körpers oder durch die Art der Aggregation seiner kleinsten Theilchen. Das äussere Kennzeichen für diese Eigenschaft ist leicht zu bestimmen. Wenn wir einen Körper von der gedachten Eigenschaft auf den Weg von Strahlen bringen, so müssen hinter demselben die Strahlen nicht mehr wirksam sein. Die Bewegung pflanzt sich eben nicht mehr durch den Körper hindurch und über denselben hinaus im Aether von Schicht zu Schicht fort. Soweit es die Lichtstrahlen im engeren Sinne des Wortes betrifft, ist dies auch äusserst leicht zu konstatiren: der undurchstrahlbare Körper macht, auf den Weg von Lichtstrahlen gebracht, hinter sich einen Schatten.

Denkbar ist nun auch der andere Fall, dass in den Zwischenräumen zwischen den wägbaren Theilchen des Körpers das Medium des Aethers so vertheilt ist, dass eine schwingende Bewegung sich ganz regelmässig hindurch fortpflanzt, ohne dass dabei die wägbaren Theilchen erschüttert werden und ohne dass also von der Bewegung

für den Aether etwas verloren geht. Ein solcher durchstrahlbarer Körper muss daran zu erkennen sein, dass wenn wir ihn auf den Weg einer Strahlung bringen, dieselbe hinter ihm noch ebenso wirksam ist als vor ihm.

In der That gibt es nun durchstrahlbare und undurchstrahlbare Körper. Stellen wir ein Stück Eisen in den Sonnenschein, so wirft es einen Schatten. Hinter ihm ist keine Wirkung *der* Bewegung mehr bemerklich, welche wir eben Sonnenstrahlung nennen. Die Bewegung ist gleichsam absorbirt. Hinter einem in den Sonnenschein gehaltenen Steinsalzstück dagegen ist die Wirkung der Strahlung noch ungeschwächt vorhanden, der Sonnenschein kann also die Theilchen desselben nicht bewegen, da sein Effect unvermindert weiter geht, wohl aber muss er die *Theilchen des Eisenstückes* bewegt haben, denn sonst wäre ja Bewegung spurlos aus der Welt verschwunden.

Dieser Unterschied beider Fälle macht sich aber auch sehr bemerklich. *Das in den Sonnenschein gestellte Steinsalzstück bleibt kalt, das Eisenstück wird warm.*

Wir sehen also: auch bei näherer Prüfung *dieses* Vorganges, der einen Körper in jenen Zustand bringt, in welchem er die Haut berührend die Empfindung der Wärme verursacht, werden wir auf die Vorstellung geführt, dass Wärme eine Art der Bewegung ist, denn wir sehen hier *Wärme* entstehen, wenn Bewegung *in einer bestimmten* Form verschwindet, während die Wärme da fehlt, wo die Bewegung in ihrer *ursprünglichen Form* erhalten bleibt. Ich habe vorhin gesagt, man könnte den „*Schall*“ mit demselben Rechte strahlende Wärme nennen, mit welchem man den unsichtbaren Theil der Sonnenstrahlung so nennt. Ich will diese Behauptung die vielleicht manchem anstössig gewesen ist, etwas näher begründen, besonders desswegen, weil dadurch die Verwandlung einer durch den Raum fortgepflanzten Wellenbewegung in Wärme noch anschaulicher werden wird, als es vielleicht durch die letzte Erörterung geworden ist.

Ich werde zu diesem Zwecke einen Versuch beschreiben, der allerdings noch nie angestellt ist, der aber ganz sicher so ausfallen würde wie ich angeben werde, darüber kann nicht der leiseste Zweifel auskommen. Denken wir uns ein Zimmer von recht starken Mauern umgeben, in zweien seiner Wände seien Thüröffnungen angebracht. Die eine Thüröffnung sei geschlossen durch ein recht elastisches Tannenbrett, die andere durch einen mit Sägemehl gefüllten Sack. Wenn jetzt in dem Zimmer Musik gemacht würde, so würde ein

hinter dem Tannenbrett stehender Beobachter dieselbe wohl fast so gut hören wie ein im Zimmer befindlicher. Die an das Brett angrenzende Luftschicht im Zimmer überträgt nämlich ihre schwingende Bewegung an das Brett und dies überträgt sie vermöge seiner Elasticität an die angrenzende Luftschicht ausserhalb des Zimmers, so dass sich hier die Schallwellen fast ungestört weiter verbreiten.

Seine Theilchen aber behalten darum auch keinen Bewegungszustand bei.

Ganz anders ist es mit dem Hörer hinter dem Sack mit Sägemehl. Er wird von der Musik im Zimmer so gut wie nichts hören, wofern im Uebrigen die Wand des Zimmers, wie wir voraussetzten, eine dicke Mauer ist. Ueber diesen Punkt haben Sie Alle gewiss schon selbst Erfahrungen gemacht. Ist es doch allgemeiner Brauch eine Thüröffnung mit Sägemehl, Hobelspänen, Werg oder dergleichen auszufüllen, wenn man sie für Schall undurchdringlich machen will. Wo ist nun aber in diesem Falle der Bewegungseffekt der Schallwellen hingekommen? da er nicht wie an der andern Thüröffnung durch das Tannenbrett auf die Luft ausserhalb des Zimmers übertragen ist. Sie haben die Antwort ohne Zweifel schon errathen: dieser Bewegungseffekt ist Wärme, welche in dem Sack voll Sägespäne erzeugt worden. Er hat sich erwärmt, während das elastische Tannenbrett, das seine Bewegung wieder nach aussen abgegeben hat, nothwendig kalt geblieben ist.

Wie gesagt, ist dieser Versuch noch nicht angestellt. Die Erwärmung eines den Schall nicht durchlassenden Körpers unter dem Einflusse des Schalles ist noch nicht beobachtet, aber man kann auch nicht einen Augenblick zweifelhaft sein, dass diese Erwärmung unter den beschriebenen Umständen statt haben würde. Gerade desshalb hat glaube ich noch kein Physiker die gar nicht unbedeutende Mühe über sich genommen, den in Rede stehenden Nachweis zu liefern. Ich sage: „die nicht unbedeutende Mühe“, denn in der That würde die Ausführung des Versuches (der natürlich im Einzelnen nicht nach meiner Beschreibung disponirt werden könnte) höchst schwierig sein, weil die in dem undurchstrahlbaren Körper durch den Schall erzeugte Wärmemenge jedenfalls sehr klein ausfallen würde, das können wir schon zum Voraus beurtheilen. Der Nachweis so kleiner Wärmemengen ist aber, wie man sich leicht denken kann, mit Schwierigkeiten verbunden.

Um die beiden letzten Beispiele, in welchen wir die Verwandlung von Sonnenstrahlung und von Schall in Wärme sahen, unter einen Gesichtspunkt zu bringen mit den beiden ersten Beispielen, wo Wärme durch Annäherung eines schweren Körpers an die Erde und durch chemische Verbindung erzeugt wurde — um die Analogie dieser beiden Arten von Beispielen noch deutlicher hervortreten zu lassen, erinnern wir uns daran, dass das Verschwinden einer Bewegung eines Körpers sehr häufig ganz sichtlich die Ursache der Bewegung in einem andern Körper ist. Ja es ist diese Uebertragung der Bewegung durch Stoss sogar die anschaulichste wenn sie auch nicht die leichtest erklärliche Bewegungsursache ist. Fassen wir das Resultat dieser ganzen Betrachtungen kurz zusammen. Es ist dieses: Wenn wir irgend einen Vorgang, bei welchem wir einen Körper warm werden sehen, genauer zergliedern, so zeigt sich allemal, dass Bewegungsursachen auf den Körper einwirken, ohne dass eine gröbliche sichtbare Bewegung der ganzen Massen dadurch erzeugt wird. Im ersten Falle war die Bewegungsursache die Annäherung der schweren Masse an den Erdkörper, im zweiten war es die Annäherung der einander anziehenden Schwefelsäure und Eisenmoleküle aneinander, im dritten war es das Erlöschen der Aetherbewegung, im vierten das Erlöschen der Bewegungen der Lufttheilchen. Wir sehen statt einer sichtbaren Bewegung Wärme erscheinen, und wir sind daher gewiss zu dem Schlusse berechtigt: „die Wärme ist eine besondere Art der Bewegung."

Wir können unseren Schluss noch befestigen durch das umgekehrte Argument. Es entsteht nämlich oft sichtbare oder fühlbare Bewegung durch Aufwand von Wärme. Ich will nur einen recht anschaulichen Fall beschreiben. Denken wir uns ein Quantum komprimirter Luft in einem Gefässe eingeschlossen. Es habe die Temperatur der Umgebung. Oeffnen wir jetzt der Luft einen Weg aus dem Gefässe, so wird sie, wie allgemein bekannt, in einem sehr fühlbaren Strome herausblasen, wobei sie noch überdies den Gegendruck der umgebenden Atmosphäre zu überwinden hat. Stellt man diesen Versuch wirklich an — und er ist oft angestellt — so findet man, dass die Temperatur der ausströmenden sowohl als der im Gefässe zurückbleibenden Luft niedriger geworden ist, als sie anfangs war. Die Luft enthält also, nachdem sie in fühlbare Bewegung gerathen ist, weniger Wärme als zuvor, wo sie in Ruhe war. Wir können

den Befund so ausdrücken: Eine Masse ist in gröblich wahrnehmbare Bewegung gesetzt worden; dafür aber ist Wärme verschwunden. Wer wollte da noch anstehen, die Folgerung zu ziehen: die Wärme welche verschwunden ist, war ebenfalls Bewegung, sie hat nur eine andere Form angenommen, indem die Massen in sinnlich wahrnehmbare Bewegung gerathen sind.

Also auch von dieser entgegengesetzten Seite her kommen wir wieder auf den Satz, dass die Wärme eine Art von Bewegung ist.

Wie wir uns nun die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen, zu denken haben, das soll Gegenstand unserer Betrachtungen in der nächsten Vorlesung sein.

Zweite Vorlesung.

Meine Herren!

Das Ergebniss unserer Betrachtungen in der vorigen Vorlesung war *dies*: Der Zustand der Körper, in welchem sie, mit unserer Haut in Berührung gebracht, das Gefühl der Wärme erregen, ist *ein Bewegungszustand ihrer Theilchen* oder kurz ausgedrückt, die *Wärme* ist nichts Anderes als eine *Art der Bewegung*. Es stellt sich uns daher jetzt die Frage: *was* für eine Art der Bewegung ist die Wärme?

Wir werden unserm Ziele näher kommen, wenn wir zunächst einige Antworten suchen auf die negative Frage: was für eine Art der Bewegung ist die Wärme *nicht*?

Eine Antwort auf diese Frage liegt sofort auf der Hand: Die Bewegung, welche wir Wärme nennen, ist jedenfalls nicht eine Bewegung bei welcher grössere ausgedehnte Gruppen aneinandergrenzender Theilchen der Körper parallele und lang ausgedehnte Bahnen mit gleicher Geschwindigkeit beschreiben. Diese Art der Bewegung, ist ja die fortschreitende oder drehende Bewegung grösserer zusammenhängender Massen als Ganzes. *Derartige* Bewegungen, wie die eines dahinfliegenden Steines, wie die eines sich drehenden Rades, wie die des strömenden Wassers, wie die des wehenden Windes, nimmt man stets *als solche* sinnlich wahr. Wäre die Wärme eine *derartige* Bewegung, so hätte niemand jemals daran zweifeln können, dass sie eine Art der Bewegung sei.

Die Wärme kann aber auch nicht eine Bewegung derart sein, dass ganze Schichten von Theilchen wenn auch in kleinen, sogar unsichtbar kleinen Bahnen parallel und mit gleicher Geschwindigkeit hin- und hergehen. Die Physik hat nämlich längst gelehrt, dass sich ein derartiger Bewegungszustand, wo ganze Schichten in Ueberein-

stimmung bewegt sind, stets wellenartig fortpflanzt, so dass die ganze Bewegung, in welcher jetzt eine bestimmte Schicht des Körpers begriffen ist, in einem folgenden Augenblicke auf eine benachbarte Schicht übertragen ist.

Um die Sache ganz in concreto vorzuführen: die Physik kennt nur zwei Arten der Bewegung von der beschriebenen Regelmässigkeit, nämlich Schall und Licht.

Befinden sich die ponderabelen Theilchen eines elastischen Mediums in schichtenweise übereinstimmender Bewegung, so haben wir es mit Schall zu thun, und befinden sich die Aethertheilchen schichtenweise in übereinstimmender Bewegung, so pflanzen sich Lichtwellen fort.

Durch Ausschliessung dieser Möglichkeiten bleibt nun als Charakteristik der Bewegung, welche wir Wärme nennen, dies übrig: Die kleinsten Theilchen des Körpers bewegen sich unregelmässig durcheinander, so dass jedenfalls niemals grössere Gruppen von Theilchen oder Schichten des Körpers in übereinstimmender Bewegung begriffen sind.

In dieser rein negativen Charakteristik liegen aber noch sehr verschiedene Möglichkeiten. Es drängt sich zunächst die Unterscheidung von zwei möglichen Bewegungsarten auf: Die Moleküle eines Körpers können sich nämlich erstens fortschreitend bewegen und können zweitens an Ort und Stelle bleibend sich drehen. Dazu kommt als dritte Möglichkeit noch die Bewegung der Bestandtheile des Moleküls. Wir müssen uns nämlich selbst bei den sogenannten chemischen Elementen oder Grundstoffen das Molekül immer noch als ein mehr oder weniger komplicirtes System verschiedener Atome vorstellen. So ist z. B. ein Wasserstoffmolekül mindestens aus zwei gleichartigen Wasserstoffatomen zusammengesetzt. Ausserdem aber mögen in die Zusammensetzung des Moleküles noch zahlreiche Aetheratome eingehen — Atome von dem schon mehrfach erwähnten hypothetischen Medium, das im ganzen Weltraume verbreitet gedacht werden muss.

Viel verwickelter sind natürlich noch die Moleküle der chemischen Verbindungen zusammengesetzt. Es ist also jedesfalls denkbar, dass die Bestandtheile innerhalb des Moleküles sich bewegen, indem sie z. B. abwechselnd sich einander annähern und sich von einander entfernen.

Es ist sehr wahrscheinlich, ja wir können sagen fast gewiss, dass die **drei** soeben entwickelten Möglichkeiten auch stets gleichzeitig realisirt sind. Mit andern Worten, wir müssen annehmen: Die Moleküle eines warmen Körpers — und alle Körper sind mehr oder weniger warm — wir müssen also annehmen, die Moleküle jedes Körpers sind stets zu gleicher Zeit in den drei Arten der Bewegung begriffen: sie bewegen sich erstens fortschreitend, so dass der Schwerpunkt des Gesammtmoleküles jeden Augenblick einen andern Ort einnimmt, wenn auch vielleicht nur auf kleinen ringförmig in sich zurückkehrenden Bahnen, die immer von Neuem durchlaufen werden; zweitens drehen sich die Moleküle um ihre Schwerpunkte, und drittens oscilliren innerhalb des Moleküles die Atome mehr oder weniger lebhaft hin und her. Diese Bewegungen aber, das mag auch an dieser Stelle wieder hervorgehoben werden, diese Bewegungen sind ganz unregelmässig und ungeordnet, so dass im Allgemeinen nie eine ausgedehntere Gruppe von Molekülen zur selben Zeit in derselben Bewegung begriffen ist. Es stimmt im Allgemeinen weder die fortschreitende noch die drehende noch die Bewegung der Bestandtheile für benachbarte Moleküle zuammen, namentlich ist in der fortschreitenden Bewegung der Gesammtmoleküle keinesfalls irgend eine Richtung bevorzugt. Wir müssen uns ferner auch in der Beziehung die Bewegung unregelmässig denken, dass nicht etwa ein Molekül sich genau so lebhaft bewegt wie das andere. Im Gegentheil schwingt in einem bestimmten Augenblick das eine Molekül vielleicht in weiten Excursionen hin und her, während nicht weit davon eines blos langsam rotirt, hier herrscht Bewegung der Bestandtheile gegeneinander vor, dort die fortschreitende Bewegung.

Jeden Augenblick wechselt wieder die Scene; durch Anstösse von hüben und drüben tauschen die Moleküle fortwährend ihre Bewegungen gegenseitig aus. Es muss sich aber nothwendig allemal ein Zustand herstellen, bei dem im Durchschnitt doch dem einzelnen Moleküle ein bestimmtes Quantum von Bewegung zukommt, und zwar ist dasselbe bei aller Verschiedenheit der individuellen Fälle im Durchschnitt auch gleichmässig vertheilt zwischen den drei Arten der Bewegung, nämlich der fortschreitenden, der rotirenden und der Bewegung der Bestandtheile innerhalb des Moleküles.

Das ganze Quantum was durch die drei Arten der Bewegung der Moleküle eines Körpers zusammen dargestellt wird, ist die im Körper enthaltene Wärmemenge.

Etwas bestimmtere Vorstellungen über die Bewegungen der Moleküle können wir uns machen für die Körper im gasförmigen Aggregatzustande, der uns überhaupt die Materie unter den einfachsten Verhältnissen darbietet. Die Untersuchung der Materie im gasförmigen Aggregatzustande gibt daher auch die wesentlichsten Grundlagen für unsere heutigen Anschauungen von ihrer Konstitution. Das Wesen des gasförmigen Aggregatzustandes besteht, wie Sie jeden Augenblick wahrnehmen, darin, dass der gasförmige Körper ein bestimmtes Volum nur einnimmt, sofern er zwischen undurchdringliche Wände eingeschlossen ist, auf welche er nach allen Seiten einen Druck ausübt. Um Ihnen die Anschauung dieses allseitigen Druckes lebendig za machen, erinnere ich Sie an einen Versuch, den Sie im physikalischen Unterrichte ohne Zweifel in einer oder der andern Weise haben anstellen sehen. Denken Sie sich einen Kautschukballon mit Luft gefüllt. Halten Sie denselben frei in der Hand, so merken sie von dem Drucke der Luft in seinem Innern Nichts, er drückt nur auf seine Unterlage mit seiner Schwere wie ein fester Körper. Nach oben und nach den Seiten wird kein Druck wahrnehmbar. Dies hat seinen Grund darin, dass eben die umgebende Atmosphäre ebenso stark auf die äussere Fläche der Kautschukhülle drückt, wie die eingeschlossene Luft auf die innere.

Nehmen wir jetzt die Luft um den Ballon herum weg — indem wir z. B. denselben unter den Recipienten einer Luftpumpe bringen und diesen leer pumpen — sofort macht sich der nun nicht mehr durch Gegendruck von aussen aufgewogene allseitige Druck von innen geltend, denn der elastischen Spannung der Hülle zum Trotz dehnt die Luft im Innern den Ballon aus. Möglicherweise wird die Hülle sogar gesprengt und sofort nimmt die Luft das ganze Volum des Recipienten ein, welches sich ihr darbietet.

Dies unbegrenzte Expansionsbestreben könnte man allerdings erklären durch die Annahme, dass die Gasmoleküle einander gegenseitig abstossen und somit auch wenn sie ruhten das Streben hätten, immer weiter auseinanderzugehen. Es lässt sich aber durch ganz unwiderlegliche Gründe, denen ich hier nicht nachgehen kann, darthun, dass die Annahme von abstossenden Kräften zwischen den Gasmolekülen auf Widerspruch führt.

Der Druck eines Gases auf die es umschliessenden Wände ist daher nur zu erklären durch die Bewegung seiner kleinsten Theilchen. Wir müssen nämlich annehmen, dass die Moleküle eines Stoffes im gasförmigen Aggregatzustande ganz unabhängig voneinander im Raume herumfliegen. Jedes setzt

seinen Weg geradlinig fort, bis es auf ein Hinderniss stösst, sei es ein anderes Molekül, sei es eine Wand und von diesem wie eine elastische Kugel in anderer Richtung zurückprallt. Wenn wir uns also eine solche Gasmasse im freien Weltraum denken, wo keine fremde Kraft auf sie wirkte, so würden die Moleküle nach allen Richtungen ins Unbegrenzte auseinanderstieben.

Der Druck des Gases auf die es umschliessenden Wände erklärt sich hier einfach aus den häufigen Anstössen der Moleküle, welche die Wand, wenn sie nicht fest ist, zurücktreiben, genau, wie man eine beliebige starre, aber bewegliche Wand fortschieben könnte durch Anwerfen von Kautschukbällen. Es leuchtet ohne Schwierigkeit ein, dass diese von Clausius zuerst streng entwickelte Vorstellung vom Wesen des gasförmigen Aggregatzustandes die beiden Grundgesetze dieses Zustandes vollständig erklärt. Erstens nämlich das Gesetz, dass bei gleicher Temperatur der Druck eines Gases in demselben Maasse wächst, in welchem das Gas zusammengepresst wird, dass mit andern Worten der Druck dem Volum umgekehrt proportional ist. Man sieht wenigstens leicht, dass die Stösse der Moleküle gegen die Wände um so häufiger werden müssen, in einen je engern Raum man dieselbe Anzahl von Molekülen einschliesst. Da aber unserer Auffassung nach die Anzahl der Stösse in der Zeiteinheit ceteris paribus den Druck bestimmt, so muss er mit Verminderung des Volums zunehmen.

Noch leichter ergiebt sich die Erklärung des zweiten Grundgesetzes, des Gesetzes nämlich, wonach der Druck eines Gases der Temperatur proportional wächst. Wir müssen nur annehmen, dass die Temperatur das Maass ist der durchschnittlichen Kraft, welche die fortschreitende Bewegung eines Moleküles repraesentirt. Es ist alsdann selbstverständlich, dass der Druck mit der Kraft dieser Bewegung d. h. mit der Temperatur steigen muss, wenn dieser Druck in den Stössen der Moleküle gegen die Wände besteht, denn je grösser die Geschwindigkeit, desto häufiger und desto stärker werden die Moleküle an die Wände stossen.

Die weitere Verfolgung des betretenen Gedankenganges führt zu der Bestimmung des absoluten Nullpunktes der Temperatur. Es ist dies eine so wichtige und interessante Sache und sie ist zugleich in diesem Zusammenhange so einfach und leicht verständlich, dass ich nicht versäumen will, eine kurze Erörterung derselben hier einzuschieben.

Bekanntlich bezeichnen wir auf unsern Thermometerskalen die Temperatur des schmelzenden Eises als 0° und die noch niedrigeren

Temperaturen als negativ. Das kann die Vorstellung erwecken als gäbe es einen realen Gegensatz zur Wärme und als enthielte bei der Temperatur des schmelzenden Eises ein Körper gar keine Wärme. Dies wäre aber offenbar ein Irrthum, denn es kann ja ein Körper, dessen Temperatur Null Grad ist, immer noch Wärme abgeben, indem er sich noch weiter abkühlt. Man kann z. B. gefrorenes Quecksilber aufhauen, indem man es mit Eis in Berührung bringt. In unserer Anschauungsweise müssen wir sagen: wenn ein Körper die Temperatur des schmelzenden Eises hat, so sind seine Moleküle immer noch in Bewegung begriffen; z. B. die Moleküle eines bis zu dieser Temperatur abgekühlten Gases fliegen immer noch hin und her. Wenn also auch der Gefrierpunkt nicht der absolute Nullpunkt der Temperaturen ist, so hat doch die Frage nach einem solchen einen ganz guten Sinn. Es wäre die Frage: Welche Temperatur hätten wir einem Körper zuzuschreiben, dessen Moleküle gar nicht in Bewegung wären?

Am allerschärfsten können wir die Frage nach dem absoluten Nullpunkt der Temperatur so formuliren: Die ganze bei der Temperatur von 0° in einem Körper enthaltene Wärmemenge ist wie vielmal grösser, als die Wärmemenge welche dazu gehört ihn, von 0° auf 1° zu erwärmen? So viele Grade unter dem Gefrierpunkt liegt offenbar der absolute Nullpunkt. Denn jedesmal wo ich dem Körper diese letztere Wärmemenge entziehe, kühle ich ihn um einen Grad ab. Wenn ich also weiss, wie viele Mal ich ihm diese Wärmemenge überall entziehen kann, bis sein ganzer Vorrath von Wärme verloren ist, so weiss ich, wie viele Grade unter dem Gefrierpunkt die Temperatur liegt, bei welcher der Körper gar keine Wärme mehr enthält und das wäre der absolute Nullpunkt.

Diese Zahl lässt sich nun mit der grössten Leichtigkeit folgern aus der Beziehung zwischen dem Wachsen des Druckes eines Gases mit dem Wachsthum seiner Temperatur. Diese Beziehung ist bekanntlich erfahrungsmässig folgende: für die Zunahme der Temperatur um einen Grad der 100theiligen Skala wächst der Druck eines Gases um $\frac{1}{273}$ desjenigen Werthes den der Druck beim Gefrierpunkt hat. Für die Abnahme der Temperatur um einen Grad sinkt also der Druck um ebenso viel.

Wenn demnach der Druck des Gases auf den Werth Null herabgebracht worden sollte, so müsste man seine Temperatur vom Gefrierpunkt an um 273° sinken lassen. Da aber der Druck, wie wir sahen,

die Folge der Bewegung ist, so entspricht der Werth Null des Druckes der vollständigen Ruhe der Moleküle oder dem vollständigen Mangel aller Wärme — dem Nullpunkte der Temperatur. Es liegt also dieser gerade 273° unter dem Gefrierpunkte. Mit andern Worten: Ein Körper enthält bei der Temperatur des schmelzenden Eises immer noch ein Wärmequantum, das 273 Mal so gross ist als die Wärmemenge welche nöthig ist, den Körper um einen Grad der 100theiligen Skala zu erwärmen.

Kehren wir nach diesem Exkurs zurück zu unserm eigentlichen Thema, zur Begründung und weiteren Ausführung unserer Anschauung von der Wärmebewegung in den Gasen. Ich habe zuerst hervorgehoben, dass die beiden Hauptgesetze, denen der gasförmige Aggregatzustand unterworfen ist, in unserer Anschauung ihre Erklärung finden. Wir können aber noch manche andere wesentliche Eigenschaften der Gase durch diese Anschauung in Zusammenhang bringen und erklären. Vor allem gehört dahin die ganz allgemeine Mischbarkeit der Gase. Es ist eine bekannte Erscheinung, dass jede zwei heterogene Gasarten, die aneinandergrenzen, sich alsbald mischen, so dass das eine wie das andere gleichmässig im ganzen Raume verbreitet ist. Dies findet selbst dann statt, wenn das leichtere Gas oben, das schwerere unten war. Es gibt keine zwei Gasarten, die sich über einander schichten liessen wie Wasser und Oel. Schichtet man z. B. Wasserstoff über Kohlensäure, die 22 Mal schwerer ist, so verbreitet sich dennoch der Wasserstoff nach unten und die Kohlensäure nach oben, und das ganze Gefäss worin man die beiden Gase übereinander geschichtet hat, wird nach kurzer Zeit überall von einem gleichmässigen Gemenge derselben eingenommen sein. In unserer Anschauung ist diese Erscheinung ganz selbstverständlich, denn wenn die Gasmoleküle durchschnittlich so weit auseinanderliegen, dass sie gar keine merkliche anziehende oder abstossende Wirkung aufeinander ausüben, so ist kein Grund vorhanden warum die Wasserstoffmoleküle nicht zwischen die Kohlensäuremoleküle und warum diese nicht zwischen jene hineinfliegen sollten.

Man hat aus den Erscheinungen der Gasmischung wohl zuweilen umgekehrt gegen die neuere Gastheorie einen Einwand erhoben, indem man behauptet hat, dieselbe erfordere ein fast momentanes Vorsichgehen aller Gasmischungen. Dieser Einwand beruht aber auf dem Missverständnisse, unsere Anschauung vom gasförmigen Aggregatzustande schliesse die Annahme in sich, die Gasmoleküle müssten immer

oder wenigstens meist weit gradaus fliegen, bis sie an die Wand anstossen. Das ist aber nicht der Fall. Man kann vielmehr annehmen, dass ein Molekül durchschnittlich schon nach Zurücklegung eines ganz kleinen Weges auf ein anderes Molekül stösst und seine Richtung ändert. Die Gasmoleküle würden somit doch nicht so rasch aus der Stelle kommen und die Mischung zweier Gase brauchte so immerhin einige Zeit. Clausius hat unter der Voraussetzung, dass der 1000te Theil des von einem Gase eingenommenen Raumes durch die Wirkungssphären der Moleküle wirklich besetzt sei, berechnet, dass die Moleküle des Gases durchschnittlich eine Bahnstrecke ungestört und mithin gradlinig zurücklegen, die 62 mal so gross ist, als der durchschnittliche Abstand zweier Nachbarmoleküle, dies ist aber offenbar eine sehr kleine Grösse verglichen mit allen sichtbaren Längen.

Schon zu wiederholten Malen habe ich hervorgehoben, dass die Bewegung welche wir Wärme nennen, nicht blos eine fortschreitende ist, sondern das einzelne Molekül dreht sich auch um seinen Schwerpunkt und seine Bestandtheile bewegen sich gegeneinander; denn wenn auch anfangs nur fortschreitende Bewegung vorhanden wäre, so müsste sich doch durch die zahlreichen und häufig excentrischen Stösse der Moleküle aneinander drehende und intramolekulare Bewegung entwickeln und es muss sich offenbar alsbald ein durchschnittliches konstantes Verhältniss herstellen zwischen der Bewegungsmenge, welche durch die intramolekulare und der, welche durch die fortschreitende Bewegung repraesentirt wird.

Es dürfte zu den Glanzpunkten der modernen Naturwissenschaft gehören, dass wir schon heutzutage dies Verhältniss zwischen der Kraft der fortschreitenden und der intramolekularen Bewegung für gewisse Fälle numerisch angeben können und zwar ohne dass irgend welche kühne Hypothese zur Berechnung verwandt wäre. An der Hand von Betrachtungen, die sich freilich nicht ohne mathematische Hülfsmittel darstellen lassen, auf deren Mittheilung ich desshalb hier verzichten muss, hat Clausius gezeigt, dass bei den einfacheren Gasarten die Kraft, welche die fortschreitende Bewegung der Gesammtmolekule repraesentirt, sich zu der durch die drehende und intramolekulare Bewegung repraesentirten Kraft verhält ungefähr wie 63: 37. Mit andern Worten: von der Bewegungsmenge, welche die ganze in einem einfachen Gase enthaltene Wärme ausmacht, steckt etwa 63% in der fortschreitenden Bewegung der Gasmoleküle und ungefähr 37% in der drehenden resp. der intramolekularen Bewegung der Bestand-

theile. Bei mehr zusammengesetzten Gasen, bei denen das einzelne Molekul aus mehr verschiedenen Bestandtheilen gebildet ist, macht die intramolekulare Bewegung der Bestandtheile einen grösseren Bruchtheil der ganzen Wärmebewegung aus.

Wenn wir die Temperatur eines gasförmigen Aggregates steigen lassen, so heisst dies nach unserer Auffassungsweise nichts Anderes, als dass wir die Molekularbewegung immer heftiger und heftiger machen, dabei wird nicht bloss die fortschreitende, sondern auch die intramolekulare Bewegung der Bestandtheile intensiver.

Es ist nun einleuchtend, dass wenn die intramolekulare Bewegung der Bestandtheile gegeneinander einen gewissen Grad der Heftigkeit überschreitet, dass dann der Zusammenhang des Molekules aufgehoben werden muss. Denken wir uns die intramolekulare Bewegung z. B. als einfache Rotation, so wird bei einer gewissen Geschwindigkeit die Centrifugalkraft über die gegenseitige Anziehung der Bestandtheile überwiegen und es werden Bestandtheile das Molekul verlassen, wie vor einem rasch gedrehten Teigklumpen einzelne Parthieen abfliegen. Denken wir uns die intramolekularen Bewegungen so, dass die Bestandtheile des Molekuls in Oscillationen sich abwechselnd voneinander entfernen und sich wieder nähern, so werden auch, wenn die Schwingungen einen gewissen Grad der Heftigkeit und mithin der Amplitude überschreiten, die Bestandtheile des Molekules ganz auseinanderfliegen.

Wenn die soeben entwickelte Folgerung richtig ist, so muss die Wärme im Stande sein, jede chemische Verbindung zu lösen. Die Bestätigung dieses Satzes ist eines der schönsten Ergebnisse der neueren experimentellen Naturforschung. Lassen Sie uns bei diesen merkwürdigen Versuchen von Sainte Claire Deville einige Augenblicke verweilen, welcher mehrere der festesten chemischen Verbindungen durch Wärme gesprengt hat. Er bezeichnet den Vorgang mit dem Namen der „Dissociation“, der seither in Chemie und Physik ganz eingebürgert ist.

Eine der allerfestesten Verbindungen ist zweifellos das Wasser. Jedes Wassermolekul besteht aus einem Sauerstoff- und zwei sehr fest daran geknüpften Wasserstoffatomen. So fest aber auch diese Verknüpfung durch die gegenseitige Anziehungskraft ist, so muss sie doch gelöst werden, wenn die gegenseitige Bewegung der Atome innerhalb des Molekules einen gewissen Grad der Heftigkeit übersteigt — wenn mit andern Worten die Temperatur des Wassers (das wir uns alsdann übrigens schon gasförmig vorstellen müssen) eine gewisse Grenze

erreicht. Bei dieser Temperatur werden nicht mehr Wassermoleküle, sondern getrennte Sauerstoff- und Wasserstoffatome im Raume umherfliegen.

Wie sollen wir uns aber davon überzeugen?

Man kann natürlich nicht erwarten, dass bei der Abkühlung der Sauerstoff und der Wasserstoff getrennt bleiben, sie werden sich vielmehr, wenn sie auch bei den extremen Temperaturen getrennt waren, bei niedrigeren Temperaturen wieder vereinigen, so dass wir bei noch weiterer Abkühlung wieder flüssiges Wasser, nicht Sauerstoff und Wasserstoff erhalten. Man muss also die räumliche Sonderung der Wasserstoffatome und der Sauerstoffatome bei der hohen Temperatur selbst vornehmen und dies geschieht in den schönen Versuchen St. Claire Deville's gleichsam durch ein Sieb, welches die grösseren Sauerstoffatome nicht durchlässt, wohl aber die weit kleineren Wasserstoffatome. Ein Sieb der Art gibt ein dünnes Platinblech ab. Lässt man in ein Rohr von solchem Blech bei hoher Glühhitze Wasserdampf einströmen, so strömt am andern Ende nicht Wasserdampf aus, sondern unter Umständen fast bloss reiner Sauerstoff, indem die durch die hohe Temperatur abgespaltenen Wasserstoffatome grossentheils durch die Poren der Röhrenwand nach aussen getreten sind.

So paradox es klingen mag, so ist doch sehr wahrscheinlich, dass es auf demselben Principe der Dissociation beruht, wenn die Wärme chemische Verbindungen veranlasst.

Wir können beim Beispiel des Wassers stehen bleiben. Bekanntlich kann Wasserstoff und Sauerstoff nebeneinander im Gemenge bestehen, ohne dass jemals von selbst die chemische Verbindung — das Wasser — sich bildet.

Erst wenn wir das Gemenge oder einen Theil desselben erhitzen, verbindet sich je ein Sauerstoffatom mit zwei Wasserstoffatomen zu einem Wasserstoffmolekul, bei welcher Verbindung selbst ein enormes Wärmequantum entwickelt wird. Die Sache erklärt sich einfach. Eine Sauerstoffgasmenge ist keineswegs ein Aggregat frei umherfliegender Sauerstoffatome. Man hat sich vielmehr je zwei derselben zu einem Sauerstoffmolekul verbunden zu denken.

Es ist gewiss ein merkwürdiges Faktum — das sei beiläufig bemerkt — dass diese Vorstellung einerseits von Chemikern aus chemischen Thatsachen und andererseits von Clausius, dem jene chemischen Lehren damals ganz unbekannt waren, aus Gründen der mechanischen Wärmetheorie entwickelt wurde. Nehmen wir nun in der That an,

dass jedes Sauerstoffmolekul aus zwei Sauerstoffatomen besteht, so ist zur Bildung von Wassermolekulen offenbar zuerst eine Dissociation der Sauerstoffatome voneinander nöthig, und diese wird durch die Wärme bewirkt. So ist ersichtlich, wie die Wärme oder auch andere molekuläre Erschütterungen — wie elektrische Schläge etc. — der Einleitung chemischer Verbindungen günstig sein können.

Da die Intensität der molekularen Wärmebewegung in einer Gasmasse nicht überall genau denselben, sondern nur im Durchschnitt einen konstanten Werth hat, so wird die Dissociation nicht bei einer gewissen Temperatur momentan durch die ganze Masse eintreten sondern schon bei verhältnissmässig niedrigen Temperaturen wird in einzelnen Molekulen zuweilen die intramolekulare Bewegung weit über den Durchschnittswerth steigen und hier Dissociation bewirken, an anderen Stellen werden sich dissociirte Atome, begegnend, wieder vereinigen. Für jede bestimmte Temperatur wird ein bestimmtes durchschnittliches Verhältniss zwischen den stets dissociirten und vereinigten Atomen Geltung haben, aber es wird fortwährender Wechsel in Betreff der Individuen stattfinden. Eben noch vereinigte Atome werden im nächsten Augenblicke dissociirt sein und umgekehrt.

Je höher die Temperatur, desto mehr Atome werden dissociirt, desto weniger vereinigt sein.

Die Vorstellung, dass die Bewegung, welche wir Wärme nennen, nur im Grossen und im Durchschnitt regelmässig ist, während im Einzelnen die Bewegung hier bis zur Sprengung der Molekules heftig ist, dort Wiedervereinigung der Atome zulässt — diese Vorstellung ist ausserordentlich fruchtbar für die Erklärung der bis dahin dunkelsten chemischen Erscheinungen. Namentlich erklärt sich auf diesem Wege ganz einfach das so häufig beobachtete paradoxe Phaenomen, dass entgegengesetzte chemische Reaktionen bei derselben Temperatur stattfinden können, je nach den Mengen der in den Process eingehenden Stoffe. Bei derselben Temperatur kann z. B. der Sauerstoff durch Kupfer dem Wasserstoff und durch Wasserstoff dem Kupfer entzogen werden, d. h. man kann bei derselben Temperatur sowohl Wasserdampf durch Kupfer unter Bildung von Kupferoxyd als auch Kupferoxyd durch Wasserstoff (unter Bildung von Wasser) zersetzen. Diese Paradoxie erklärt sich in unserer Vorstellungsweise auf's einfachste. Sind nämlich Wasserstoff, Sauerstoff und Kupfer bei gewisser Temperatur — bei Glühhitze — mit einander in Berührung, so werden in fortwährendem Wechsel sich Atome verbinden

und wieder dissociiren, so dass man nebeneinander freie Wasserstoff-, freie Sauerstoff- und freie Kupfer-Atome, aber auch Kupferoxydmolekule und Wassermolekule haben wird. Es wird jedoch beständig vorkommen, dass von einzelnen Kupferoxydmolekülen der Sauerstoff abspringt und dass Wasserstoffatome sich mit Sauerstoff verbinden. Sorgt man nun dafür, dass die so gebildeten Wassermolekule weggeführt und etwa durch neue freie Wasserstoffatome ersetzt werden, so wird zuletzt dem Kupferoxyd aller Sauerstoff entzogen sein. Dies ist die Reduktion des glühenden Kupferoxyds in einem Wasserstoffstrome. Sorgt man umgekehrt dafür, dass die durch die ebenfalls vorkommende Dissociation von Wassermolekülen freiwerdenden Wasserstoffatome aus dem Bereich des Kupferoxydes wegkommen und durch neue Wassermoleküle ersetzt werden, so werden zuletzt alle oder doch fast alle vorhandenen Kupferatome fortwährend mit Sauerstoffatomen besetzt sein. Dies wäre die Oxydation des glühenden Kupfers in einem Wasserdampfstrome auf Kosten des Sauerstoffes vom Wasser.

Weit weniger deutliche Vorstellungen können wir uns beim festen und flüssigen Aggregatzustande von der Form der Molekularbewegung machen, welche wir Wärme nennen. Nur das lässt sich mit Bestimmtheit sagen, beim festen Aggregatzustande hat jedes Molekul eine bestimmte Gleichgewichtslage, die es nicht auf die Dauer ganz verlassen kann, so lange der Körper fest ist. Es kann um diese Gleichgewichtslage nur schwingende Bewegungen ausführen, bei denen es sich nach allen Seiten nur wenig von der eigentlichen Gleichgewichtslage entfernt. Was die intramolekularen Bewegungen betrifft, so kann sich bei den krystallisirten starren Körpern das einzelne Molekul wahrscheinlich auch nicht vollständig um seinen Mittelpunkt herumdrehen, denn das Gefüge des Krystalles beruht offenbar darauf, dass die Moleküle nach verschiedenen Richtungen verschieden stark aufeinander einwirken.

Der flüssige Aggregatzustand hält die Mitte zwischen dem gasförmigen und festen; die Molekule fliegen zwar noch nicht ganz frei im Raume umher, aber die Wärmebewegung ist doch schon so stark geworden, dass die einzelnen Molekule nicht mehr bestimmte Lagen einhalten, zu denen sie bei ihren Bewegungen immer wieder zurückkehren. Daraus erklärt sich die den Flüssigkeiten eigene grosse Beweglichkeit. Hierbei ist aber doch die Anziehung der Molekule untereinander noch nicht ganz durch die Bewegung überwunden.

Wenn auch nicht jedes Molekul an einem bestimmten andern Molekule haftet, so halten sich doch die Molekule in ihrer Gesammtheit durch die gegenseitigen Anziehungen in der Weise zusammen, so dass die ganze Masse innerhalb eines bestimmten Raumes bleibt.

Diese Anschauung vom Wesen des flüssigen Aggregatzustandes ist, soviel ich weiss, zuerst von Clausius ausgesprochen, ich habe ihre Darstellung daher mit seinen eigenen Worten gegeben, deren er sich in einem populären Vortrage bedient hat. Sie kommt darauf hinaus, dass im flüssigen Aggregatzustande die Moleküle untereinander herumschwärmen. Fassen wir irgend eines in's Auge, so verlässt es jeden Augenblick die Wirkungssphäre bestimmter Nachbarn, um aber sofort in die Wirkungssphäre anderer Nachbarn hineinzugerathen.

Dies Durcheinanderwirbeln und Herumschwärmen der Flüssigkeitsmoleküle kann man unter dem Mikroskope ganz direkt beobachten. Schon lange ist den Mikroskopikern ein Phänomen bekannt, das sie mit richtigem Takte als „Molekularbewegung" bezeichnet haben. Es ist, wenn ich nicht irre, von R. Brown entdeckt. Wenn man nämlich ein sehr feines Pulver in irgend eine Flüssigkeit bringt, so zeigen seine Körnchen unter dem Mikroskope eine unregelmässig tanzende und schwärmende Bewegung. Diese Bewegung zeigt sich in jeder Flüssigkeit, an jedem Pulver, es mag Schwefel, Kohle, oder sonst ein Stoff sein, sowie nur die Kleinheit der Körnchen einen gewissen Grad überschreitet. Die Bewegung ist um so heftiger, je höher die Temperatur. Vor wenigen Jahren hat Wiener in einer eigenen Abhandlung sehr scharfsinnig gezeigt, dass in der That gar keine andere Annahme möglich ist, als dass Körnchen von einer gewissen Kleinheit in die das Wesen des flüssigen Aggregatzustandes ausmachende, schwärmende Bewegung der Moleküle hineingerissen werden. Es ist mir kürzlich gelungen, auch die tanzende Bewegung an feinen Partikelchen, die in der Luft schweben, mikroskopisch wahrzunehmen.

Wir hätten also hier in beiden Fällen die Wärme als Bewegung sichtbar vor Augen.

Dritte Vorlesung.

Meine Herren!

Durch die bisherigen Betrachtungen über das Wesen der Wärme wird ihre bevorzugte, gleichsam centrale Stellung im ganzen Haushalte der Natur verständlich. Wir haben ja gefunden, Wärme ist sozusagen Bewegung überhaupt, wo sie nicht ausnahmsweise in besonders regelmässiger Form auftritt. Es ist daher leicht begreiflich, dass bei fast allen Naturprocessen Wärme erzeugt werden muss, denn man wird sich nicht leicht Körper in lebhafter Wechselwirkung denken können, ohne dass dabei ihre Moleküle auch einigermassen unregelmässig erschüttert werden, das aber ist ja „Entstehung von Wärme."

Eine durch Uebereinkommen willkührlich bestimmte Wärmemenge kann daher auch besonders zweckmässig zum allgemeinen Werthmaasse der Naturkräfte dienen, wie das Geld zum Maasse aller möglichen ökonomischen Werthe gebraucht wird.

Man hat als Einheit konventionell diejenige Wärmemenge festgesetzt, welche einem Kilogramm Wasser von der Temperatur des schmelzenden Eises zugeführt werden muss, damit seine Temperatur auf 1° der 100theiligen Scala steige. Im Sinne unserer Anschauungsweise ist aber dies als Einheit willkürlich gewählte Wärmequantum nur ein gewisses Quantum von Bewegung, etwa zum Beispiel soviel wie die Bewegung von 7 dahinfliegenden Büchsenkugeln.

Wenn in die mechanische Wärmetheorie und in die Lehre von den Wechselbeziehungen der Naturkräfte überhaupt Klarheit kommen soll, so muss die soeben angedeutete Grösse vor Allem numerisch

festgestellt werden, d. h. man muss im gewöhnlichen Maasse der Mechanik angeben können, welche Bewegungsmenge eine Wärmeeinheit darstellt.

Man nennt diese Grösse gemeiniglich das „*mechanische Aequivalent der Wärme*."

Um die experimentelle Feststellung, vor Allem aber um die eigentliche Bedeutung dieser Fundamentalgrösse sollen sich unsere heutigen Betrachtungen hauptsächlich drehen.

Ich will es versuchen, darin so weit zu kommen, als es in populärer Darstellung nur irgend möglich ist. Ich bemerke aber zum Voraus, dass dabei die allgemeinsten und darum dunkelsten Grundbegriffe der Mechanik zur Sprache kommen, deren scharfe Auffassung nicht leicht ist.

Vor Allem haben wir uns zu fragen: wie sollen wir das Quantum irgend einer beobachteten Bewegung überhaupt schätzen und mit dem Quantum einer anderen Bewegung vergleichen? Eines leuchtet als selbstverständlich ein: *wenn wir zwei verschiedene Massen mit gleicher Geschwindigkeit sich bewegen sehen, so werden wir die Bewegungsmenge der grösseren Masse für die grössere erklären und zweitens, wenn wir zwei gleiche Massen mit verschiedener Geschwindigkeit bewegt sehen, so werden wir der mit grösserer Geschwindigkeit bewegten die grössere Bewegungsmenge zuschreiben.* Die Grösse, welche uns den Maassstab für die Bewegungsmenge abgeben soll, muss also sicher sowohl mit der Geschwindigkeit, als mit der bewegten Masse wachsen. Die einfachste Grösse von solcher Beschaffenheit wäre das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit. Es gibt aber offenbar noch manche andere Grössen von derselben Eigenschaft z. B. das Produkt aus Masse und irgend welcher Potenz der Geschwindigkeit.

Im Anfange des vorigen Jahrhunderts war über diesen Punkt zwischen den erleuchtetsten Geistern ein heftiger Streit entbrannt. Die einen, die *Cartesianer*, auf deren Seite sich auch der berühmte *Voltaire* mit einer besonderen Abhandlung gestellt hat, nahmen zum Maasse der Bewegung einfach das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit. Die Gegner, die *Leibnitzianer* genannt, weil ihre Ansicht von *Leibnitz* zuerst ausgesprochen wurde, machten zum Maasse der Bewegung das Produkt aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit. Nach dieser Ansicht wäre also in einem Körper die

vierfache Bewegungsmenge, wenn er sich mit der doppelten Geschwindigkeit bewegte. Auf Seite dieser Ansicht finden wir auch die beiden grossen Mathematiker Bernoulli. Die Leibnitzianer nannten dies Produkt aus Masse mal Quadrat der Geschwindigkeit die „lebendige Kraft". Wir werden diesen Ausdruck fernerhin auch gelegentlich verwenden, doch werde ich auch das Wort Bewegungsquantum, Maass der Bewegung oder Bewegungsgrösse für denselben Begriff gebrauchen, weil es, glaube ich, die Sache anschaulicher macht. Wir müssen freilich uns dabei bewusst sein, von dem Sprachgebrauche der Mechanik abzuweichen, welche mit Bewegungsgrösse etwas anderes bezeichnet.

Man hat öfters den Streit der Cartesianer und Leibnitzianer für einen blossen Wortstreit erklärt. Ich kann mich mit dieser Meinung nicht befreunden, obwohl sie die Autorität eines d'Alembert für sich hat.

Es ist doch gewiss schwer zu glauben, dass Männer wie Leibnitz, Voltaire, Bernoulli, Jahrzehnte lang angestrengt discutiren, ohne zu merken, dass es sich um ein Missverständniss handelte, — wenn dem wirklich so gewesen wäre. Ich glaube aber, es ist auch ganz leicht die Sache herauszustellen, um welche sich der Streit drehte. Bewegung kann nicht spurlos aus der Welt verschwinden, ohne eine Wirkung zu hinterlassen. Wenn nun durch Vermittelung irgend welcher Kräfte Bewegung ganz oder theilweise von einer Masse auf eine andere übertragen wird, ohne dass irgend welche andere Veränderung oder Wirkung dabei ausgeübt wird, dann muss — das scheint a priori gewiss zu sein — dann muss das Bewegungsquantum nach der Uebertragung noch gerade so gross sein, als vor derselben. Diesem gemäss muss der Maasstab der Bewegung gewählt werden und diesem Grundsatze gemäss glaubten auch beide Parteien, glaubten Cartesius und Leibnitz ihren Maassstab der Bewegung gewählt zu haben. Es ist gewiss kein Wortstreit, wenn Cartesius sagt, das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit bleibt beim Austausch oder bei der Uebertragung der Bewegung erhalten, und wenn Leibnitz hiergegen sagt, das Produkt aus Masse und Quadrat der Geschwindigkeit bleibt erhalten bei Uebertragung der Bewegung, wofern sonst keine Wirkung ausgeübt wird, dieser Zusatz darf allerdings nicht vergessen werden. Es ist ein sachlicher Streit und Leibnitz hat recht darin, d. h. eigentlich ist das Maass der Bewegung oder der lebendigen Kraft das halbe Produkt aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit. Ein Stein hat also z. B. wenn er doppelt so schnell fliegt, nicht bloss die doppelte, sondern die vierfache Bewegungsquantität.

Dies Maass der Bewegung ist aber auch ganz unmittelbar das Maass der Ursache, durch welche die Bewegung bewirkt werden kann. Die unmittelbare Ursache einer vorher nicht vorhandenen Bewegung besteht überall darin, dass ein Körper einer Kraft, die auf ihn einwirkt, Folge giebt. Wir nennen mit einer bemerkenswerthen bildlichen Redeweise diesen Vorgang „Arbeit". Die Bezeichnung ist hergenommen von der Art, wie wir durch die Thätigkeit oder Arbeit unserer eigenen Muskeln Bewegungen in der Aussenwelt erzeugen und es ist auch durchaus in der Ordnung, dass wir diesen Hergang als maassgebend für die ganze Auffassung der Mechanik ansehen, denn es ist der einzige, wo wir gleichsam von Innen zusehen können, wie Bewegung entsteht.

Ich glaube, man kann den schwierigen Begriff der mechanischen Arbeit nicht klarer machen, als wenn man eben davon ausgeht was wir im eigenen Leben körperlich arbeiten nennen. Es gehört dazu offenbar vor Allem die Anstrengung d. h. also, physiologisch zu reden, die Anspannung der Muskeln oder mechanisch gesprochen, eine gewisse Kraft. Diese Anstrengung, die eine gewisse Kraft, Zug oder Druck ins Spiel bringt, macht aber allein noch nicht die Arbeit aus. Es gehört ferner dazu, dass durch die Anstrengung auch eine Veränderung erzielt ist. Wenn wir uns z. B. mit noch so grosser Kraft und Anstrengung gegen einen absolut festen Felsblock angestemmt hätten und dies auch noch so lange fortgesetzt hätten, so hätten wir doch noch keine Arbeit geleistet, denn wir hätten damit gar Nichts in der Aussenwelt verändert. Hätten wir aber durch die Anspannung unserer Muskeln den Felsblock fortgeschoben, dann hätten wir Arbeit gethan und zwar offenbar um so mehr, je weiter wir ihn fortgeschoben hätten einerseits und andererseits um so mehr, mit je grösserem Druck es geschehen wäre. Die Arbeit unserer Muskeln bemisst sich also nach der Kraft, mit welcher sie gespannt sind und nach der Wegstrecke, durch welche diese Spannkraft wirkt.

Wir sehen nun, dass ein Körper den wir durch eine gewisse Wegstrecke mit unserer Muskelspannkraft ziehen, in immer wachsende Bewegung geräth, sofern er nicht zugleich von anderen entgegengesetzten Kräften angegriffen wird, und dass der Körper alsdann zuletzt eine der aufgewandten Anstrengung oder Arbeit entsprechende lebendige Kraft besitzt. So z. B. können wir einem in der Hand gehaltenen Stein eine bedeutende Geschwindigkeit und mithin lebendige Kraft beibringen, wenn wir ihn mit sammt der Hand

durch geeignete Spannung der Armmuskulatur in wagrechtem Bogen herumziehen. Lassen wir ihn am Ende der Bahn los, so fliegt er mit der durch die Arbeit erlangten Geschwindigkeit fort. Diese ist offenbar um so grösser, je grösser die aufgewendete Arbeit war, d. h. je stärker der Zug der Muskeln am Armknochen war und je weiter die Wegstrecke durch welche diese Muskelspannung den Armknochen mit sammt dem Steine gezogen hat.

Die Maasseinheit für jede beliebige Druck- oder Zugkraft ist die Gewichtseinheit, das Kilogramm, die Maasseinheit der Wegstrecken ist das Meter, mithin ist die Maasseinheit für die soeben definirte Grössengattung, für die Arbeitsgrössen das Produkt der Gewichtseinheit in die Linieneinheit. Man bezeichnet diese neue Einheit mit dem Ausdruck Kilogrammmeter.

Die Arbeit in diesem Maasse gemessen, gibt nun, wie schon angedeutet, zugleich auch den Werth der durch sie zu erzeugenden lebendigen Kraft, wenigstens wenn wir die in der Mechanik üblichen Einheiten des metrischen Systems zu Grunde legen d. h. als Zeiteinheit die Sekunde, als Längeneinheit das Meter, als Geschwindigkeitseinheit ein Meter per Sekunde, als Krafteinheit das Kilogramm, als Masseneinheit diejenige Masse, auf welche die Krafteinheit durch eine Zeiteinheit wirken muss, um ihr eine Geschwindigkeitseinheit beizubringen, das ist die Masse welche, wenn sie aus ponderabeler Materie besteht, mit 9, 88 Kilogramm auf die Wage drückt.

Wenn wir, sage ich, diese Einheiten zu Grunde legen, dann ist eine Anzahl von Arbeitseinheiten zugleich die Anzahl von Einheiten lebendiger Kraft, welche dadurch erzeugt wird und umgekehrt.

Lebendige Kraft und Arbeit sind demnach gleichartige Grössen, die sich zueinander addiren und voneinander subtrahiren lassen. Bis dahin nicht vorhanden gewesene Bewegung oder lebendige Kraft wird erzeugt durch Arbeit d. h. durch das positive Wirken einer Kraft, wenn eine Masse dem Antrieb der Kraft Folge leistet. Umgekehrt wird Bewegung oder lebendige Kraft vernichtet, wenn eine Masse sich gegen den Antrieb einer Kraft bewegt d. h. in entgegengesetztem Sinne, als in welchem die Kraft wirkt. Im Geiste der mathematischen Zeichensprache hätte man diesen Vorgang negative Arbeit zu nennen. Machen wir auch diesen Vorgang wieder klar an der Anwendung unserer eigenen Leibeskräfte. Denken wir uns eine schwere Kugel. mit grosser Geschwindigkeit aus der Luft herabfallend, und fangen wir sie auf mit

den vorgestreckten Händen. Wenn wir jetzt diejenigen Muskeln unserer Arme spannen, welche dieselbe erheben, so wird die Kugel unsere Arme nur wenig niederdrücken, alsbald vielmehr ihre lebendige Kraft verlieren und in Ruhe bleiben. Hier ist lebendige Kraft verschwunden, weil sich ein Körper — nämlich Kugel und Arm — einer darauf wirkenden Kraft, nämlich der Muskelspannung, entgegen bewegt hat.

Mit Hülfe der nunmehr gewonnenen Anschauungen will ich versuchen, Ihnen eine Idee vom Principe der Erhaltung der Kraft zu geben.

Denken wir uns zwei Massen in zwei Punkten und zwischen ihnen eine Anziehungskraft wirksam in der Richtung ihrer Verbindungslinie, deren Intensität lediglich durch den Abstand zwischen den beiden Massen bestimmt wird; es ist das ein Fall einer sogenannten „Centralkraft“.

In einem solchen Falle ist offenbar jedes Stück Arbeit, welches die Kraft an den Massen geleistet hat, verloren d. h. es kann nicht noch einmal positiv geleistet werden; es sei denn, dass die Massen sich wieder von einander entfernten. Soll aber dies letztere geschehen, so müssen sich die Massen der wirkenden Kraft entgegen bewegen und dabei wird ihre Bewegungsgrösse vermindert, den elementarsten und a priori einleuchtenden Principien der Dynamik gemäss, die ich Ihnen soeben anschaulich zu machen suchte.

Für zwei Massenpunkte, zwischen denen eine anziehende Centralkraft wirkt, ist bei einem bestimmten Abstand gewissermassen ein bestimmter Vorrath von Arbeit disponibel, der mit völligem Zusammenfallen der beiden Punkte erschöpft sein würde. Nähern sich von der bestimmten gedachten Entfernung an gerechnet die Massen einander und wird damit von dem Arbeitsvorrath ein Stück geleistet, so nimmt die lebendige Kraft der Massen um ein gleiches Stück zu. Umgekehrt, wenn sich die Massen von einander entfernen, also der wirksamen Kraft entgegen sich bewegen, dann nimmt die lebendige Kraft ab, dafür aber wächst offenbar der disponibele Arbeitsvorrath.

Die Summe des noch disponibelen Arbeitsvorrathes und der vorhandenen lebendigen Kraft kann also **durch die Einwirkung der beiden** Massenpunkte aufeinander nicht geändert werden.

Denken wir uns jetzt ein System von mehr als zwei Massenpunkten, wir wollen sie a, b, c etc. nennen, zwischen denen ebenfalls nur Centralkräfte wirken.

Bei einer gewissen gegenseitigen Stellung wird in dem ganzen System ein Vorrath von disponibeler Arbeit vorhahden sein, bestehend aus dem Vorrath, welchen die Kraft zwischen a und b bis zur völligen Berührung leisten könnte, und aus dem, welchen die Kraft zwischen a und c leisten könnte, und aus dem, welchen die Kraft zwischen a und c leisten könnte, und aus dem, welchen die Kraft zwischen b und c leisten könnte etc. Die im System vorhandenen lebendigen Kräfte werden offenbar zunehmen, wenn sich die gegenseitige Stellung der Massenpunkte in dem Sinne ändert, dass der soeben geschilderte Arbeitsvorrath gemindert ist, denn es haben alsdann im Ganzen die wirksamen Kräfte Arbeit geleistet und geleistete Arbeit ist Bewegungsursache. Bei einer entgegengesetzten Aenderung der relativen Lage wird die Summe der lebendigen Kräfte kleiner, dafür aber der noch mögliche Arbeitsvorrath grösser, indem das Auseinandergehen von Massen überwiegt. Wir sehen also, auch in einem System von beliebig vielen einander wechselseitig anziehenden Massenpunkten kann sich die Summe der vorhandenen lebendigen Kräfte und des noch disponibelen Vorrathes von möglicher Arbeit durch die Wechselwirkung der Massen des Systemes d. h. ohne Einwirkung von Aussen nicht ändern.

Wenn die ganze Welt ein solches System von Massenpunkten ist, die nur mit Centralkräften aufeinander einwirken, dann ist die Summe der vorhandenen lebendigen Kräfte und des disponibelen Vorrathes noch möglicher Arheit für das ganze Weltall eine in alle Ewigkeit unveränderliche konstante Grösse, da ja im Weltall eine Einwirkung von aussen nicht denkbar ist. Alle Processe in der Welt können alsdann nur darin bestehen, dass die Bewegungen d. h. die lebendigen Kräfte andere Formen annehmen oder dass, wo Bewegung aufhört, ein neuer Vorrath von disponibeler Arbeit entsteht oder dass umgekehrt ein solcher verloren geht, wo neue Bewegung erzeugt wird.

Dies ist das Princip von der Erhaltung der Kraft. Seine allgemeine ausnahmslose Gültigkeit empirisch zu erweisen, ist einer der Hauptzielpunkte der heutigen Naturwissenschaft. Das ganz ausserordentliche Interesse dieses Nachweises liegt darin: Wenn — so haben wir gesehen — das Weltall ein System von Punkten ist, die bloss mit Centralkräften aufeinander einwirken, dann gilt das Princip der Erhaltung der Kraft. Es ist nun mathematisch erwiesen, dass sich dieser Satz auch umkehren lässt, d. h. wenn das Princip der Erhaltung der Kraft gültig ist, dann ist das Weltall ein System von Mas-

senpunkten, welche sich lediglich unter dem Einflusse von Centralkräften bewegen d. h. alle Kräfte in der Welt sind nur anziehende oder abstossende in der Richtung der Verbindungslinie der aufeinander wirkenden Massenpunkte und ihre Intensität hängt allein ab von dem gegenseitigen Abstande der beiden Punkte.

Dies ist übrigens auch ohne mathematische Formeln in der unmittelbaren Anschauung einzusehen. In der That, denken wir uns für den Augenblick einmal, es gäbe zwei Massen, welche nicht mit Centralkräften aufeinander wirkten, sondern mit Kräften, welche senkrecht zur Verbindungslinie gerichtet sind. Eine solche Kraft würde offenbar die Massen im Kreise umeinander treiben, immer schneller und schneller, ohne dass sich an der gegenseitigen Lage derselben etwas zu ändern brauchte. Eine solche rotirende Kraft wäre ein unerschöpflicher Vorrath von disponibeler Arbeit.

Sie gäbe aber auch die Möglichkeit, lebendige Kraft spurlos aus der Welt zu schaffen. Wenn nämlich die eine Masse gegen die Richtung der Kraft sich um die andere drehte, so würde sie verzögert, ohne dass sie in eine andere Lage zu derselben zu kommen brauchte. Man sieht also, wenn es andere als Centralkräfte in der Welt gäbe, z. B. rotirende Kräfte, dann wäre kein Princip der Erhaltung der Kraft gültig.

Eine erste sehr wichtige empirische Bestätigung für die wirkliche Gültigkeit des Satzes von der Erhaltung der Kraft werden wir finden bei der experimentellen Ermittelung derjenigen Grösse, die wir zum Ausgangspunkte dieser Betrachtungen machten; ich meine des mechanischen Aequivalentes der Wärmeeinheit. Sehen wir uns einige der klassischen Versuche näher an, welche Joule zu diesem Zwecke angestellt hat.

Joule brachte im Innern eines cylindrischen Gefässes ein Schaufelrad an. Um die senkrechte Axe desselben war eine Schnur gewickelt, die zunächst über eine Rolle laufend am Ende ein Gewicht trug. Dasselbe wird also herabsinkend das Schaufelrad drehen in ähnlicher Weise wie das sinkende Gewicht die Räder einer Schwarzwälder Uhr dreht. Wenn man den Cylinder, in welchem sich das Schaufelrad dreht, mit einer Flüssigkeit füllt, dann wird die Bewegung des Rades nicht immer schneller und schneller werden, obgleich das sinkende Gewicht immerwährend daran arbeitet d. h. immer neue und neue Bewegungsursachen darauf wirken. Die Reibung der Schaufeln am Wasser hemmt die Bewegung und darum wird sie nicht beschleu-

nigt. So drückt man im gemeinen Leben die Sache aus. Wir können jetzt auf dem gewonnenen Standpunkte genauer sagen wie es zugeht.

Die Bewegungsursache, deren Wirkung sonst die Beschleunigung der Masse des Gewichtes und der übrigen damit verbundenen Theile gewesen sein würde, bewirkt hier unsichtbare unregelmässige Bewegungen der Wassertheilchen d. h. Wärme. Wenn das Princip der Erhaltung der Kraft hier genau gültig ist, dann muss ein bestimmtes Quantum Arbeit d. h. eine bestimmte Anzahl von Kilogrammetern allemal eine und dieselbe bestimmte Wärmemenge erzeugen, unabhängig von den besonderen Bedingungen des Versuches z. B. unabhängig von dem Material, woraus das Schaufelrad gemacht ist, und von der Natur der Flüssigkeit, worin es läuft. Dies ist nun durch die in Rede stehenden Versuche von Joule wirklich nachgewiesen. Er hat nämlich einerseits das Gewicht und die Höhe, durch welche es sinkt, gemessen. Das Produkt beider Zahlen ist die geleistete Arbeit. Andererseits hat er die Wärmemenge bestimmt, die in der Flüssigkeit frei wird, in welcher das Schaufelrad läuft. Joule hat bei allen seinen Versuchen in der That ein konstantes Verhältniss zwischen der geleisteten Arbeit und der dadurch erzeugten Wärme gefunden, und zwar lässt sich je eine Wärmeeinheit erzeugen durch Aufwand von 424 Kilogrammeter Arbeit in runder Zahl.

Stellen wir uns einen Fall des Versuches in bestimmten, wenn auch fingirten Zahlen vor, um von diesem fundamentalen Verhältnisse eine recht klare Anschauung zu erhalten. In dem Gefässe, in welchem das Schaufelrad geht, seien 5 Kilogramm Wasser enthalten gewesen, das Gewicht welches das Rad treibt, betrage 212 Kilogramm und sei im Versuche beim Treiben des Rades um 1 Meter gesunken, dann wird die Beobachtung der Temperatur des Wassers eine Steigerung um 0.1° ergeben. Die Wärmemenge, welche die Temperatur von 5 Kilo Wasser um 0.1° steigert, ist nämlich offenbar eine halbe Warmeeinheit, denn diese Wärmemenge, ist das 5fache von derjenigen, welche die Temperatur von 1 Kilo um $^1/_{10}{}^0$ steigert; diese letztere aber ist offenbar $^1/_{10}$ von einer unserer Wärmeeinheiten. Die Arbeit, welche geleistet ist, indem 212 Kilo um 1 Meter herabsanken, ist 212 Kilogrammeter. Soviel hätte also dazu gehört, um $^1/_2$ Wärmeeinheit zu erzeugen d. h. 424 Kilogrammeter, um eine ganze Wärmeeinheit hervorzubringen.

Es ist vielleicht gut bei dieser Gelegenheit sich zu überzeugen, dass in der That eine bestimmte Anzahl von Kilogrammeter z. B. 212 Kilogram-

meter immer dieselbe Arbeitsgrösse ist, wie auch das Produkt aus den zwei Faktoren der Kraft und der Wegstrecke zusammengesetzt ist. Ob wir z. B. wie wir soeben dachten 212 Kilo durch 1 Meter sinken und ziehen lassen oder ob wir 424 Kilo durch $^1/_2$ Meter ziehen lassen oder ob wir 106 Kilo durch 2 Meter ziehen lassen, es ist immer dieselbe Arbeit. Man sieht dies in unserm Falle folgendermassen ein. Wir hatten uns ja gedacht, dass das Gewicht von 212 Kilo an einer Schnur hängt, welche um die Axe des Schaufelrades gewickelt ist. Nun kann man offenbar ganz genau dieselbe Wirkung auf diese Axe ausüben, wenn man ihr einen Kranz von Zähnen giebt, in welchen ein Zahnkranz von gleichem Halbmesser eingreift, der an einer halb so dicken Axe angebracht ist. An die Schnur, welche um diese zweite Axe gewickelt wäre, nur müsste dann, wie allgemein bekannt, das doppelte Gewicht d. h. 424 Kilo angehängt sein, wenn die erstere Axe mit der alten Kraft gedreht werden sollte. Dafür aber würde dies Gewicht schon mit halb so tiefem Sinken das Schaufelrad ebenso oft umgedreht haben. Man kann also das Rad mit einer gewissen Geschwindigkeit während einer gewissen Zeit drehen mit Aufwendung von 212 Kilogrammeter, mag dies nun so geschehen, dass man 212 Kilo durch 1 Meter oder so, dass man 424 Kilo durch ein halbes Meter ziehen lässt. Offenbar könnte man durch Einschaltung einer andern Maschine wieder denselben Effekt durch Aufwand von 212 Kilogrammeter in der Weise erzielen, dass man 106 Kilo durch zwei Meter ziehen liesse und so fort.

Versuche von der beschriebenen Art, bei denen übrigens noch zahllose Vorsichtsmassregeln, Kunstgriffe und Korrektionen nothwendig sind, hat Joule mit verschiedenen Materialien gemacht und immer hat sich nahezu dasselbe Resultat ergeben. Aehnliche Versuche hat er ferner noch angestellt, bei denen ein fallendes Gewicht durch Reibung (fester Körper aneinander) gehemmt und an der Beschleunigung gehindert wurde. Auch hier ergab sich so genau als man nur immer erwarten kann, derselbe Werth für das mechanische Aequivalent der Wärme.

Sehen wir uns die Joule'schen Versuche jetzt an unter dem Gesichtspunkte des Principes der Erhaltung der Kraft. Es besagt: die Summe der vorhandenen lebendigen Kraft und des Vorrathes von Arbeit, die möglicherweise noch geleistet werden kann, ist in der ganzen Welt eine konstante. Bei einem Versuche der beschriebenen Art wird nun der Vorrath von Arbeit, der noch geleistet werden

kann, vermindert, indem ein Gewicht von einer gewissen Höhe herabsinkt, d. h. indem zwei Massen die einander anziehen — das Gewicht und die Erde — sich einander genähert haben. Wenn also jene Summe dieselbe bleiben soll, so muss der Vorrath von lebendigen Kräften vermehrt sein. Die gesunkene schwere Masse hat in dem Versuche keine der aufgewendeten Arbeit entsprechende lebendige Kraft erlangt, daher müssen wir anderwärts eine Vermehrung der lebendigen Kräfte — der Bewegung — suchen und wir finden sie in der Vermehrung der Wärme in dem Wasser, welches durch das Schaufelrad geschüttelt wurde. Wir sehen aus den zahlreichen Versuchen Joule's, dass in der That immer ein ganz bestimmtes Wärmequantum durch einen bestimmten Aufwand von Arbeit erzeugt wird, dass also eine Wärmeeinheit ein unter allen Umständen bestimmtes Maass von lebendiger Kraft ist.

Ich habe Sie heute grossentheils mit sehr abstrakten Erörterungen ermüden müssen und doch habe ich vielleicht nicht mein Ziel erreicht, Ihnen eine klare Anschauung vom Principe der Erhaltung der Kraft zu verschaffen. Ich hoffe indessen, dass es mir gelingen wird, Ihnen dies Princip geläufiger zu machen durch die Anwendungen auf konkrete Beispiele, die wir in den folgenden Vorlesungen behandeln wollen.

Vierte Vorlesung.

Meine Herren!

Unsere Betrachtungen haben sich bis jetzt hauptsächlich um die Wärme gedreht. Dies hat seinen Grund darin, dass sich an der Wärmelehre vorzugsweise unsere neueren Anschauungen von den Wechselbeziehungen der Naturkräfte entwickelt haben. Daher ist es eben auch am naturgemässesten, sie in der Darstellung an die Wärme anzuknüpfen. Wir sind aber in diesen Betrachtungen über das Wesen der Wärme schon an verschiedenen Punkten auf die meisten anderen Agentien der Natur gestossen. Es wird nur einer nochmaligen Zusammenfassung jener zerstreuten Andeutungen und der Hinzufügung weniger neuer Züge bedürfen, und das ganze Bild der Wechselbeziehungen der Naturkräfte wird, so weit dies jetzt überhaupt schon möglich ist, anschaulich vor unseren Augen stehen.

Die Untersuchung über die Ausmessung der Wärmequanta mit dem Kraftmaasse der Mechanik hat uns auf das allgemeinste Princip der Naturwissenschaft geführt, auf das Princip der Erhaltung der Kraft. Unter dem Gesichtspunkte dieses Grundsatzes wollen wir jetzt die Wechselbeziehungen der Naturkräfte betrachten. Bei der ausserordentlichen Wichtigkeit des Gegenstandes mag es erlaubt sein, den Satz von der Erhaltung der Kraft noch einmal zu erläutern. Dieser Satz sagt aus: Die Kraft kann in der Natur unter zwei wesentlich verschiedenen Formen erscheinen, einmal als lebendige Kraft oder Bewegung.

Als Maass der in einer bestimmten Bewegung vorhandenen lebendigen Kraft haben wir kennen gelernt das halbe Produkt von Masse und Quadrat der Geschwindigkeit. Dieselbe Kraft

kann aber auch erscheinen unter der Form von „verfügbarer“ Arbeit, oder, wie Helmholtz sich ausgedrückt hat, unter der Form von „Spannkraft“. Verfügbare Arbeit oder Spannkraft ist in einer Zusammenstellung von Körpern dann vorhanden, wenn darin die Möglichkeit gegeben ist, dass ein gewisser Druck durch eine gewisse Wegstrecke wirkt. Je mehr diese Möglichkeit in einer Zusammenstellung von Körpern gegeben ist, desto grösser ist der darin vorhandene verfügbare Arbeits- oder Spannkraftsvorrath. Wenn die Körper nur anziehend oder abstossend nach der Richtung der Verbindungslinie aufeinander wirken, dann — das haben wir gesehen — dann muss stets der Vorrath von verfügbarer Arbeit in demselben Maasse abnehmen, in welchem die erzeugte Bewegung zunimmt und umgekehrt. Wenn also die ganze Welt eine Zusammenstellung von Körpern ist, die bloss anziehend oder abstossend aufeinander wirken, dann können alle Processe nur darin bestehen, dass dieselbe Kraft nur immer verschiedene Formen annimmt, dass nämlich Bewegung in verfügbare Arbeit und verfügbare Arbeit wieder in Bewegung verwandelt wird. Eine besonders bemerkenswerthe Möglichkeit ist noch die, dass ein Bewegungsquantum zunächst in verfügbare Arbeit, in Spannkraft, verwandelt wird, und dass diese dann als Bewegungsursache auf andere Massen wirkt.

Geschieht dies unmittelbar nacheinander und so, dass die ganze ursprünglich als solche vorhandene Bewegung auch hernach wieder als solche vorhanden ist, dann erscheint der Vorgang als Bewegungsübertragung von einer Masse auf die andere. Es kann dabei auch noch die Bewegung eine andere Form annehmen, z. B. aus einer sichtbaren Bewegung zusammenhängender Massen kann Molekularbewegung werden, aus einer fortschreitenden eine schwingende und dergleichen mehr.

Unter diesen Gesichtspunkten wollen wir nun die bekanntesten und wichtigsten Gattungen von Processen betrachten. Wir haben im Verlauf unserer Untersuchungen schon manches berührt, was wir jetzt nur weiter auszuführen brauchen. So haben wir schon in der ersten Vorlesung den Vorgang behandelt, dass durch die chemische Verbindung zweier Stoffe Wärme entsteht. Unter dem nunmehr gewonnenen Gesichtspunkte können wir sagen: bei solchen chemischen Prozessen wird der in der Welt vorhandene Vorrath von möglicher Arbeit verringert und dafür der Vorrath von lebendiger Kraft, im Besonderen der Vorrath von Wärme, vermehrt. In der That,

denken wir uns beispielsweise ein Kohlenstoffatom und 2 Sauerstoffatome in einiger Entfernung davon. Wir müssen uns vorstellen, dass zwischen ihnen und dem Kohlenstoffatom eine Anziehung statt hat, welche freilich erst bei sehr kleiner Entfernung gross — dann aber auch sehr gross ist. Solange also die Sauerstoffatome von dem Kohlenstoffatom entfernt liegen, so lange ist ein Vorrath von möglicher Arbeit oder eine Summe von Spannkraft vorhanden, welche nicht mehr da ist, wenn die Sauerstoffatome vom Kohlenstoff angezogen sind und sich mit ihm zur Kohlensäure vereinigt haben, d. h. wenn die Sauerstoffatome dicht am Kohlenstoffatom liegen. Es muss also bei diesem Processe nothwendig entweder ein neuer Arbeitsvorrath anderwärts aufgespeichert oder der Vorrath von lebendigen Kräften vermehrt werden, wenn dem Princip der Erhaltung der Kraft Genüge geschehen soll. Gewöhnlich ist ausschliesslich das Letztere der Fall, indem die Verbrennung des Kohlenstoffs Wärme erzeugt. Soll dabei das Princip der Erhaltung der Kraft genau gelten, so muss bei Verbrennung eines bestimmten Kohlenstoffquantums ein ganz bestimmtes Wärmequantum erzeugt werden, ganz unabhängig von den sonstigen Umständen, wofern nur die eine Bedingung erfüllt ist, dass der chemische Process ausser der Wärmeentwicklung keine anderen Wirkungen hat.

Namentlich muss bei vollständiger Verbrennung von einer bestimmten Menge Kohlenstoff immer dieselbe Wärmemenge frei werden, mag diese Verbrennung auf einmal geschehen oder absatzweise, so dass sich z. B. erst Kohlenoxyd und dann Kohlensäure bildet.

Diese Sätze sind experimentell genau bestätigt, wir wissen, dass bei Verbrennung von 1 Kilo Kohlenstoff allemal in runder Zahl 8000 Wärmeeinheiten gebildet werden. Wir haben also hier die Beziehung der Aequivalenz zwischen entwickelter Wärme und geleisteter chemischer Arbeit, wie in dem Falle, welchen wir in der letzten Vorlesung ausführlich behandelt haben.

Dasselbe Aequivalenzverhältniss muss sich auch zeigen, wenn umgekehrt eine chemische Verbindung durch Wärme gesprengt wird; hier wird ein Spannkraftsvorrath aufgespeichert, indem ja Massen, die einander anziehen, von einander entfernt werden, demgemäss muss bei einem solchen Processe Wärme verschwinden.

Hierauf beruht vielleicht zum Theil die sprüchwörtliche besondere Kühle des Waldes; sie ist keine Täuschung, wie es so viele andere sprüchwörtliche Dinge sind. In den Blättern der Bäume nämlich wird die

durch die Sonnenstrahlung erzeugte Wärme zum Theil dazu verwandt, Kohlensäure zu zerlegen und die Wärme muss daher als solche verschwinden.

Bei verwickelteren chemischen Processen kommt gemeiniglich beides vor, es werden Anziehungen überwunden — Spannkraft aufgespeichert — und andererseits wird chemische Arbeit geleistet, indem Stofftheilchen ihrer gegenseitigen Anziehung Folge geben. Von der genauen quantitativen Bestimmung dieser Arbeitsgrössen sind sehr wahrscheinlich die bedeutendsten Fortschritte der Chemie in der nächsten Zukunft zu erwarten.

Eine andere Beziehung der Wärme, die wir ebenfalls schon früher berührt haben, war die Entstehung der Wärme aus wellenförmig fortgepflanzten Aetheroscillationen; ich werde dieselben der Kürze wegen Licht nennen (auch diejenigen, welche den Sehnerven des Menschen nicht afficiren). Hier ist wiederum die Beziehung eine wechselseitige: wie nämlich durch Strahlung Wärme in einem Körper erzeugt wird, so sendet auch umgekehrt ein warmer Körper Strahlen aus und kühlt sich dabei ab. Wie dies zugeht, ist leicht begreiflich; die an der Oberfläche des Körpers gelegenen Theilchen müssen bei ihren Bewegungen den benachbarten Aether erschüttern, und bei der unendlichen Mannigfaltigkeit der Bewegungen der Theilchen eines warmen Körpers kann es nicht fehlen, dass auch solche Bewegungen an der Oberfläche vorkommen, welche geeignet sind, im umgebenden Aether regelmässige Wellen zu veranlassen. Je intensiver die Bewegungen im warmen Körper sind, desto raschere Oscillationen kommen in der von ihm ausgesandten Strahlung vor. Wenn daher die Temperatur eines Körpers eine gewisse Grenze übersteigt, so sendet er unter andern auch solche Strahlen aus, bei denen die Schwingungszahl grösser ist, als 450 Bill. und die unsern Sehnerven afficiren. Der Körper glüht alsdann, wie man sich auszudrücken pflegt.

Die Verwandlung von Licht in Wärme und von Wärme in Licht ist eine blosse Uebertragung der Bewegung von einem Stoffe auf den andern, nicht eine bleibende Verwandlung von Bewegung in Spannkraft oder umgekehrt. Ein Aequivalenzverhältniss besteht bei dieser Uebertragung auch, doch kann man es nicht so bequem numerisch ausdrücken, weil wir für das Licht keine so bequemen Maasseinheiten haben, und weil das Licht selbst eine fortwährende Uebertragung der Bewegung auf immer neue und neue Massen bedingt. Man müsste das Aequivalenzverhältniss etwa so formuliren: Wenn während der Zeiteinheit eine Strahlung von der und der Stärke

auf die Oberflächeneinheit eines Körpers fällt, der die Strahlung weder zurückwirft noch durchlässt, so wird in dem Körper die und die Wärmemenge erzeugt. Nehmen wir ein numerisches Beispiel: Wenn die Sonnenstrahlung während einer Minute auf ein Quadratdecimeter absorbirender irdischer Oberfläche fällt, dann wird nach den Messungen von Pouillet ungefähr 0.4 Wärmeeinheit erzeugt.

Nicht weniger wechselseitig ist die Beziehung zwischen der Wärme und mechanischer Arbeit im engeren Sinne des Wortes. Wir haben diese Beziehung in der einen Richtung schon ausführlich betrachtet. Wir sahen nämlich, dass durch Leistung mechanischer Arbeit Wärme erzeugt werden kann. So kann nun auch umgekehrt mechanische Arbeit disponibel gemacht werden, indem Wärme verschwindet. In den Dampfmaschinen haben wir grossartige Beispiele dieses Vorganges vor Augen, und zwar haben wir uns denselben im Einzelnen folgendermassen zu denken. Die Moleküle des Dampfes im Cylinder fahren frei hin und her, wie wir es früher als Wesen des gasförmigen Aggregatzustandes beschrieben haben. Diejenigen Moleküle, welche an die bewegliche Wand d. h. an den Kolben stossen, schieben ihn vorwärts, aber sie kommen dann mit geringerer Geschwindigkeit zurück, als wenn sie von einer absolut starren Wand abgeprallt wären. Dieser Satz steht mit so vielen alltäglichen Erfahrungen im Zusammenhang, dass er Jedermann ohne Weiteres plausibel ist. Wir sehen ja täglich, wie ein elastischer Körper, wenn er gegen einen absolut starren und unbeweglichen Körper anprallt, mit derselben Geschwindigkeit zurückkommt, mit welcher er hinging. Wenn er dagegen beim Anstoss den andern Körper in Bewegung setzt, so kommt er mit kleinerer Geschwindigkeit zurück, möglicherweise kann er dabei vollständig zur Ruhe kommen, wie dies in bekannten physikalischen Versuchen mit Elfenbeinkugeln gezeigt wird und wie es auch jedem Billardspieler geläufig ist.

Indem die Dampfmoleküle den Kolben der Dampfmaschine in Bewegung setzen, verlieren sie also von ihrer eigenen Bewegung, d. h. es verschwindet Wärme. Statt dessen aber ist entweder der Vorrath von disponibeler mechanischer Arbeit vermehrt, indem eine Last weiter von der Erde entfernt ist, oder es ist mechanische Bewegung ganzer Massen erzeugt. Auch hier muss natürlich dasselbe mechanische Aequivalent der Wärme Geltung haben d. h. es muss für je 424 Kilogrammeter disponibel gemachter mechanischer Spannkraft gerade eine Wärmeeinheit als solche verschwinden.

Ein anderes bemerkenswerthes Beispiel der Verwandlung von Wärme in mechanische, sichtbare Bewegung grösserer Massen haben wir bei jedem Schuss vor Augen. Die Moleküle der erhitzten gasförmigen Verbrennungsprodukte des Pulvers im Geschützrohr hämmern gleichsam gegen die Kugel und treiben sie aus dem Laufe heraus. Die Moleküle selbst sind zwar überaus klein, aber sie fahren mit solcher Heftigkeit und so häufig gegen das Geschoss, dass dies zuletzt die furchtbare Geschwindigkeit erlangt, mit welcher wir es den Lauf des Geschützes verlassen sehen, und welcher es seine zerstörende Wirksamkeit verdankt. In demselben Maasse in welchem die Moleküle der Pulvermasse die Kugel in Bewegung setzen, in demselben Maasse müssen sie selbst an Bewegung verlieren. Es muss also mit andern Worten mehr Wärme als solche erzeugt werden, wenn man einen Schuss Pulver für sich verbrennt, als wenn man ihn eine Kugel treiben lässt.

Das grossartigste Beispiel der Verwandlung von Wärme in disponibelen Vorrath mechanischer Arbeit und sodann in Massenbewegung ist der meteorologische Process an der Erdoberfläche. In der That, keine andere Kraft als die Wärme hebt jene ungeheuren Wassermassen in die höchsten Höhen, aus denen sie als Regen herabfallen oder als Schnee sich auf die Gipfel der Gebirge lagern. Von da stürzen sie als Bäche und Ströme in's Thal hernieder mit einer Wucht, welche allmählich ganze Berge zu versetzen im Stande ist. Diese Riesenkräfte des strömenden Wassers sind also in andere Form verwandelte Wärme.

Fassen wir das Resultat unserer Betrachtungen noch einmal kurz zusammen. Wir sahen: Es kann Wärme in mechanische Bewegung oder in mechanischen Arbeitsvorrath verwandelt werden und umgekehrt durch Aufwendung mechanischer Arbeit kann Wärme erzeugt werden. Es kann Licht in Wärme und Wärme in Licht verwandelt werden. Es kann durch Leistung von chemischer Arbeit Wärme entstehen und es kann umgekehrt chemische Spannkraft disponibel gemacht werden durch Aufwendung von Wärme.

Unter Vermittelung der Wärme können wir daher auch nun durch Leistung mechanischer Arbeit chemische Verbindungen zerlegen d. h. den disponibelen Arbeitsvorrath der chemischen Verwandtschaftskräfte mehren, und wir können durch Leistung von chemischer Arbeit Licht erzeugen, wir können Licht in chemische Spannkraft oder in mechanische Bewegung verwandeln und umgekehrt. Kurz ein disponibeles Quantum von irgend einem der in Rede stehenden Agentien

von Wärme, Licht, chemischer Spannkraft, mechanischer Spannkraft oder mechanischer Bewegung, können wir in ein entsprechendes äquivalentes Quantum von jedem andern dieser Agentien verwandeln, und wir können dem Hergang bei dieser Verwandlung an der Hand höchst wahrscheinlicher Hypothesen ganz gut mit der Anschauung folgen.

Dunkler wird die Sache, wenn wir auch noch zwei Agentien der Natur in den Bereich unserer Betrachtungen hineinziehen, die wir bisher absichtlich bei Seite gelassen haben, nämlich Elektricität und Magnetismus. Vor Allem muss man sich wohl hüten, eine Aequivalenz bestimmter Quantitäten zu suchen bei den Beziehungen der Elektricität oder des Magnetismus zu Wärme, mechanischer Arbeit u. s. w. Eine bestimmte Elektricitätsmenge ist eben nicht eine gewisse Menge von Bewegung oder ein Vorrath von disponibeler Arbeit. Ebensowenig ist ein Quantum Magnetismus eine Grösse von derselben Art wie eine Wärmemenge und dergleichen.

Was eine gewisse Menge Elektricität oder eine gewisse Menge Magnetismus sei, das können wir nicht bestimmt sagen. Hypothesen sind darüber zwar aufgestellt, sie leisten auch vortreffliche Dienste bei der mathematischen Formulirung der Probleme, aber sie scheinen mir eigentlich kaum das reale Wesen der Sache zu treffen.

Wenn nun auch eine gewisse Menge von Elektricität an sich noch keine Kraft, weder eine lebendige, noch eine Spannkraft repräsentirt, so ist doch in folgender Art eine Beziehung herzustellen: Wenn ein mit einer gewissen positiven Electricitätsmenge geladener Körper so und so weit entfernt ist von einem mit der gleichen Menge negativer Elektricität geladenen Körper, so ist ein gewisser Vorrath von Arbeit disponibel, ganz in der Weise der mechanischen Arbeit. Diese beiden Körper ziehen einander nämlich an und werden sich daher mit beschleunigter Geschwindigkeit einander nähern, wenn man sie ohne Einwirkung einer andern Kraft sich selbst überlässt. Eine Menge positiver Elektricität so und so weit entfernen von einer gleichen Menge negativer Electricität, das ist also ein analoger Vorgang, wie wenn wir einen schweren Körper so und soweit von der Erde entfernen, und zwischen diesen Vorgängen besteht dann auch eine Beziehung der Aequivalenz.

Ganz ähnlich ist es beim Magnetismus, nur dass hier noch die Richtung anzugeben ist, in welcher man einen Nordpol von einem Südpol entfernt. Die Herstellung eines Magnets von bestimmter Stärke ist ganz entschieden nicht ein bestimmtes Maass von Kraft.

So z. B. kostet es viel mehr Arbeit, einen Stahlstab magnetisch zu machen, als einem Eisenstab dieselbe magnetische Intensität beizubringen. Die Arbeit aber, welche beim Magnetisiren eines Stahl- oder Eisenstabes aufgewandt ist, wird überall nicht etwa in den Magnetismus verwandelt, sondern in Wärme.

Endlich ist auch ein elektrischer Strom von bestimmter Stärke während einer bestimmten Zeit fliessend keineswegs ein Aequivalent für ein bestimmtes Maass von lebendiger Kraft oder von Arbeit. Eine solche Strömung zu unterhalten kostet in verschiedenen Leitern sehr verschiedene Arbeit, nämlich mehr in einem Leiter von grossem, weniger in einem Leiter von kleinem Widerstande. Man kann auch, wenn ein elektrischer Strom durch Aufwand von chemischer Arbeit eine Zeit lang im Gang erhalten wurde, niemals sagen, es sei Arbeit in Elektricität oder in elektrische Bewegung verwandelt worden. Schliesslich ist stets ein Aequivalent der aufgewandten chemischen Spannkraft in irgend einer andern Form vorhanden, sei es als Wärme, als Licht, als disponibele mechanische Arbeit, als mechanische Bewegung von Massen oder wieder als aufgespeicherter Vorrath von chemischer Spannkraft an einem andern Orte.

Obwohl wir in der Technik wie in der Wissenschaft täglich und stündlich mit elektrischen Strömen umgehen und auch ganz gut damit zu handthieren verstehen, obwohl sogar die mathematische Theorie der elektrischen Ströme und ihrer Wirkungen bis zu einem hohen Grad der Ausbildung entwickelt ist, so ist doch die Frage, was denn eigentlich ein elektrischer Strom seinem Wesen nach sei, eine der dunkelsten auf dem ganzen Gebiete der Naturwissenschaft. Die elektrischen Erscheinungen haben noch heut am Tage denselben Zauber des Geheimnissvollen, der sie bei ihrem ersten Bekanntwerden zum Gegenstande des allgemeinsten Staunens machte.

Ist es nicht in der That räthselhaft, man ist fast versucht zu sagen wunderbar, wenn Folgendes geschieht, was wir Alle hundertmal gesehen haben? Es seien 10 Daniell'sche Elemente zur Batterie zusammengestellt, mit dem Kupferende und mit dem Zinkende sei ein langer Draht verbunden, jeder dieser Drähte ende in eine Platinplatte; diese beiden Platinplatten tauchen wir in eine Wassermasse ein — sofort wird das Wasser zersetzt, an der mit dem Kupfer verbundenen Platte steigt der Sauerstoff, an der mit dem Zink verbundenen steigt der Wasserstoff in Blasen auf; das Wasser und die Leitungsdrähte erhitzen sich ausserdem. Ist es nicht, als wäre hier chemische Aktion durch

einen Draht auf weite Entfernung hin fortgeleitet worden? Ohne Zweifel ist dies ein berechtigter Ausdruck für den Thatbestand. In den Daniell'schen Elementen nämlich wird chemische Arbeit geleistet, indem sich Zink mit Schwefelsäure verbindet und zwischen den Platinplatten wird umgekehrt chemische Arbeit disponibel gemacht oder chemische Spannkraft angehäuft, indem Wasserstoff von Sauerstoff getrennt wird. Sowie man den Draht an irgend einer Stelle durchschneidet, hört der Process auf.

Dem Princip der Erhaltung der Kraft wird bei diesem geheimnissvollen Vorgang volles Genüge geleistet, das ist auf's Genaueste experimentell dargethan. Die in den Elementen der Batterie geleistete chemische Arbeit ist nämlich aequivalent der Summe der auf der ganzen Strombahn entwickelten Wärme und der in der Zersetzung des Wassers zwischen den Plattinplatten aufgespeicherten chemischen Spannkraft. Man kann die drei aufgeführten Posten, deren erster der Summe der beiden andern gleich ist, in Wärmeeinheiten ausdrücken. Man weiss, wie viel Wärme bei Verbindung eines Grammes Zink mit Schwefelsäure entwickelt wird. Geschieht nun diese Verbrennung in den Zellen einer galvanischen Batterie, dann wird nicht die ganze Kraft als Wärme frei, sowie in die Leitung ein Wasserzersetzungsapparat eingeschaltet ist.

Auch noch bei einer Reihe anderer Vorgänge, in denen die Elektricität eine Vermittlerrolle spielt, ist die Geltung des Principes der Erhaltung der Kraft experimentell nachgewiesen. Es bezog sich sogar einer der ersten von den Versuchen, welche Joule zum Zwecke der experimentellen Bestätigung des Satzes von der Erhaltung der Kraft anstellte, auf einen solchen Vorgang, bei welchem chemische Arbeit geleistet und mechanische Arbeit verfügbar gemacht wird unter Vermittelung von Elektricität und Magnetismus. Den Plan dieses Versuches will ich kurz beschreiben, weil dabei die mannigfachsten Beziehungen der Elektricität und des Magnetismus zu den andern Agentien der Natur anschaulich werden.

Sie wissen, dass ein Eisenstück magnetisch ist, so lange in einem darum gewickelten Drahte ein elektrischer Strom cirkulirt, und zwar ist ein bestimmtes Ende des Eisenstückes Nordpol oder Südpol, je nach der Richtung des Stromes im Drahte. Es kann daher das fragliche Ende des Eisenstückes auch abwechselnd zum Nordpol und zum Südpol gemacht werden. Bringt man in der Nähe den Südpol eines permanenten Stahlmagnetes beweglich an, so wird er abwechselnd dem

Ende des Eisenstückes sich nähern und sich davon entfernen, wenn man periodisch die Stromrichtung in dem um das Eisen gewickelten Drahte umkehrt. Die so erzeugte mechanische Bewegung des Magnets kann durch geeignete Maschinerie in irgend welche geeignete Form gebracht werden, z. B. kann man dadurch eine Axe drehen, auf welche sich eine am Ende belastete Schnur aufwickelt. Auf diese Weise würde z. B. ein Vorrath disponibeler mechanischer Arbeit angesammelt. Beiläufig gesagt, würde man die Maschine selbst das Umkehren der Stromrichtung im Drathe besorgen lassen, was ohne nennenswerthen Arbeitsaufwand geschehen kann, ähnlich wie eine Dampfmaschine die abwechselnde Oeffnung und Schliessung der Ventile selbst besorgt.

Die Vermehrung des Vorrathes disponibeler mechanischer Arbeit durch Erhebung eines Gewichtes geschieht in einer solchen elektromagnetischen Maschine offenbar auf Kosten der geleisteten chemischen Arbeit in den Elementen der galvanischen Batterie, durch welche man die Maschine in Gang hält. Es wird aber beim Arbeiten der gedachten Maschine stets neben dem mechanischen Spannkraftsvorrath auch noch freie Wärme geliefert in den Elementen der galvanischen Batterie, in den Leitungsdrähten, und in den Eisenstücken, welche abwechselnd in entgegengesetztem Sinne magnetisirt werden. Misst man die ganze so entwickelte Wärme, addirt man dazu das thermische Aequivalent der durch die Thätigkeit der Maschine zur Verfügung gestellten mechanischen Arbeit, so erhält man eine Wärmemenge, genau gleich derjenigen, welche man erhält, wenn man die während der Thätigkeit der Maschine in den Elementen der galvanischen Batterie verlaufenen chemischen Processe ohne andern Effekt verlaufen liesse.

Man kann auch umgekehrt unter Vermittelung der Elektricität mechanische Spannkraft in Wärme oder in einen Vorrath disponibeler chemischer Arbeit verwandeln. Man braucht nur einen Magnetpol einer Drahtrolle abwechselnd zu nähern und davon zu entfernen. Es entstehen dann in der Drahtrolle elektrische Ströme, welche sie erwärmen und mit deren Hülfe man auch chemische Spannkraft anhäufen kann, wenn man einen Wasserzersetzungsapparat in die Leitung einschaltet.

Wir wollen die Beispiele nicht weiter häufen. Der flüchtige Ueberblick über die wichtigsten physikalischen und chemischen Processe hat uns wohl schon überzeugt, dass alle Agentien die wir in der Natur überhaupt wirksam sehen, die sichtbare Bewegung

zusammenhängender Massen, die Schwere, die Wärme, das Licht, die Elektricität, der Magnetismus, die chemische Verwandtschaft, — dass alle diese Agentien ineinander verwandelt werden können und dass bei allen diesen Verwandlungen, soweit überhaupt die experimentelle Forschung reicht, das Gesetz der Erhaltung der Kraft gültig befunden wird.

In der nächsten Vorlesung wollen wir nun sehen, wie unser eigener Leib nicht, wie man so lange geglaubt hat, ein den Naturgesetzen entzogenes Wunderwerk ist, dass derselbe vielmehr nur einen besondern Schauplatz für die Transformation der Kräfte ineinander darstellt.

Fünfte Vorlesung.

Meine Herren!

Es gibt in der ganzen Welt wohl keine andere Veranstaltung, in welcher auf so engem Raume ein so verwickelter Complex von Processen regelmässig abläuft, in welcher ein so mannigfaltiges Zusammenwirken der verschiedenen Natur-Agentien in bestimmten gesetzmässigen Formen fortwährend Statt hat, als die organisirten Wesen und insbesondere die höheren Thiere. Die Erscheinungen, welche wir an diesen Körpern sehen, sind daher von den an einfacheren Zusammenstellungen materieller Theilchen beobachteten, ganz abweichend und man war immer geneigt zu glauben, dass in den lebenden Organismen noch besondere Agentien wirksam seien. Man sprach bis vor wenigen Jahren allgemein und spricht auch noch jetzt da und dort von einer besonderen Lebenskraft, welche in den lebenden Wesen den Stoff in Bewegung setzen sollte. Es wird heute unsere Aufgabe sein zu untersuchen, ob die Annahme einer besonderen in der unorganischen Natur nicht wirkenden „Lebenskraft" zulässig oder gar nothwendig sei, um die Lebenserscheinungen der organischen Körper zu erklären.

Es ist gewiss nicht zu viel gesagt, wenn ich behaupte, dass von den Verfechtern einer besonderen Lebenskraft kein Einziger sich vollkommen klar gemacht hat, was er eigentlich verficht. Wir können ihnen daraus auch keinen Vorwurf machen, denn es ist noch nicht lange her, dass die Naturwissenschaft den Standpunkt einnimmt, den ich Ihnen in den bisherigen Vorlesungen darzulegen versucht habe. Nur von diesem Standpunkte aus ist aber ganz klar aufzufassen, was es eigentlich heissen will, wenn man eine besondere Lebenskraft statuirt, welche der unorganischen Natur fremd lediglich in den lebenden organischen Wesen wirkte.

Denken wir uns ein Atom von irgend einem Stoffe, z. B. ein Kohlenstoffatom. Denken wir uns dies Atom in ganz bestimmter Zusammenstellung mit anderen Atomen, z. B. von Wasserstoff, Sauerstoff und so fort. Es wird alsdann nach der von uns entwickelten Anschauungsweise eine ganz bestimmte Kraft auf das Kohlenstoffatom wirken, welche dasselbe mit einer bestimmten Intensität in einer bestimmten Richtung drückt und welche ihm, wenn es der Kraft durch eine bestimmte Wegstrecke folgt, ein gewisses Quantum von Bewegung beibringt. Eine Lebenskraft ausser den allgemeinen Agentien der Natur statuiren, heisst nun folgende Annahme machen: Wenn die vorhin gedachte Zusammenstellung von Atomen einen Theil eines lebenden Organismus ausmacht, dann könnte möglicherweise das Kohlenstoffatom mit einer anderen Intensität oder in einer anderen Richtung gedrückt werden, als wir es uns vorhin berechnet dachten aus den Anziehungen der in bestimmt vorgestellter Gruppirung umherliegenden Atome. Irgendwo müsste eben doch die Lebenskraft in das Spiel der sonst wirksamen Kräfte eingreifen, sie müsste doch auf irgend welche Atome in irgend einer Richtung drücken.

Die Summe von lebendigen Kräften, welche beim Zusammentreten einer bestimmten Gruppe von Atomen, die einander gegenseitig anziehen, entwickelt wird, müsste, wenn dies Zusammentreten innerhalb eines lebenden Organismus geschieht, einen andern Werth haben, als wenn dieselbe Atomgruppe in der unorganischen Natur sich bildet. Dies ist eine unausweichliche Consequenz vom Annehmen einer besonderen Lebenskraft. Denn diese nur innerhalb lebender Organismen wirksame Kraft müsste doch eben auch an den Stofftheilchen Arbeit leisten, wenn sie etwas Wirkliches sein sollte. Es wären dabei natürlich 2 Fälle möglich. Wo die Lebenskraft im selben Sinne wie die allgemeinen Naturkräfte wirksam wäre, würde ihre Arbeit sich zu der der letzteren addiren, und es würde beim Zusammentreten von Atomen, die einander anziehen, mehr Bewegung erzeugt als sonst; wo die Lebenskraft eine den anderen Kräften entgegengesetzte Richtung hätte, da würde beim Zusammentreten der einander anziehenden Atome weniger Bewegung erzeugt als sonst.

Nehmen wir als Beispiel etwa die Verbrennung des Zuckers zu Kohlensäure und Wasser. 1 Kilogr. Zucker besteht aus 400 Gramm Kohlenstoff, 66 Gramm Wasserstoff und 533 Gramm Sauerstoff. Wenn wir das Kilogr. Zucker nun in freiem Feuer unter genügendem Sauerstoffzutritt verbrennen, so tritt der Wasserstoff und Sauerstoff in engere Verbindung und bildet 600 Gramm Wasser, die 400 Gramm Kohlenstoff ziehen

[illegible] Sauerstoff [illegible] und bildet damit Kohlensäure. [illegible] Process wird [illegible] von der chemischen Spann[illegible] so viel, dass dabei etwa 3277 Wärme[illegible] werden. Angenommen [illegible] Trauben[illegible] innerhalb unseres Körpers [illegible] von reinem Sauerstoff [illegible] Wasser [illegible] Process der wirklich in unserem [illegible] für [illegible] Trauben[illegible] werden als 327[illegible] Einfluss hat. [illegible] als der Sauer[illegible] Kohlensäure [illegible] oder [illegible]

[illegible]

z. B. Kaninchen oder Hunde einige Stunden in ein Kalorimeter und bestimmte die vom Thiere abgegebene Wärmemenge, zugleich wurde gemessen, wie viel Sauerstoff das Thier absorbirte und wie viel Kohlensäure dasselbe exhalirte. Dulong sowohl als Despretz nahmen nun an: Der absorbirte Sauerstoff wird ausschliesslich verwendet einestheils auf Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlensäure, anderestheils auf Verbrennung von Wasserstoff zu Wasser. Sie nahmen ferner an, dass diese Verbrennung sofort nach Aufnahme des Sauerstoffes geschieht und dass auch sogleich die entwickelte Kohlensäure in der Ausathmungsluft erscheint. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich sogleich, wie viel Sauerstoff zu Bildung von Wasser verwandt ist, man braucht nur die in der ausgehauchten Kohlensäure enthaltene Sauerstoff-Menge von der ganzen im Versuche absorbirten Sauerstoff-Menge abzuziehen.

Dulong und Despretz glaubten ferner, bei Bildung einer gewissen Menge Kohlensäure, ebenso bei Bildung einer gewissen Menge Wassers würde unter allen Umständen dieselbe Wärmemenge frei, gleichgültig ob der in den Process eingehende Kohlenstoff, resp. Wasserstoff frei oder Bestandtheil einer complicirten Verbindung gewesen wäre. Unter dieser Annahme kann man aus den Versuchsdaten die verlorene chemische Spannkraft berechnen und kann damit vergleichen, wie viel lebendige Kraft factisch im Thier erzeugt wurde. Diese letztere muss nämlich einfach gleich der im Versuche an das Calorimeter abgegebenen Wärmemenge sein, da ja der Vorrath von Wärme, den das Thier am Ende des Versuches zurückbehält, bei der constanten Temperatur der höheren Thiere gleich dem Vorrath von Wärme ist, den es zu Anfang besass. Alle erzeugte lebendige Kraft muss also während des Versuches auch nach aussen abgegeben sein. Dies ist aber bei der von Dulong und Despretz gewählten Versuchsanordnung lediglich in der Form von Wärme geschehen, da das Thier keinerlei mechanische Leistung verrichtete. Die Berechnung der Versuchsdata von Dulong und Despretz ergaben das unerwartete Resultat, dass das Thier weit mehr Wärme factisch nach aussen abgibt, als sich aus den Respirationsproducten berechnen lässt. Durchschnittlich nur etwa $^4/_5$ von der wirklich in den Versuchen von Despretz zum Vorschein gekommenen thierischen Wärme liess sich unter den gemachten Voraussetzungen berechnen als Verbrennungswärme, entstanden durch Bildung von Kohlensäure und Wasser. In den Versuchen von Dulong liess sich gar nur $^3/_4$ von der wirklich gelieferten Wärme aus der Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff erklären.

Nach diesee Versuchen scheint also die Bilanz nicht zu stimmen, die Kraftausgaben in Form von Wärme übersteigen bedeutend die Krafteinnahmen, die in Form von chemischer Spannkraft gemacht wurden. Es scheint also im lebenden Thierkörper noch eine andere Krafteinnahmequelle zu fliessen ausser den chemischen Kräften, welche sonst in der Anziehung zwischen Sauerstoff einerseits, Kohlenstoff und Wasserstoff andererseits zur Verfügung sind.

Sollen wir nun hieraus schliessen: Es gibt in der That eine Lebenskraft, und zwar arbeitet dieselbe mit den chemischen Kräften in gleichem Sinne, so dass bei Bildung von einer Gewichtseinheit Kohlensäure oder Wasser im lebenden Thier mehr Bewegung d. h. mehr Wärme erzeugt wird, als sonst. Ganz gewiss sind wir zu diesem Schlusse nicht berechtigt. Wir sehen uns vielmehr vor Allem aufgefordert, die Voraussetzungen, auf welchen Dulong's und Despretz's Rechnungen beruhen, zu prüfen, ehe wir vom allgemeinsten Principe der Naturwissenschaft eine Ausnahme zugeben.

Da ergibt sich denn gar bald, dass diese Voraussetzungen ganz unzulässig sind. Namentlich auf die dritte kommt es hier an. Es ist keineswegs zu erwarten, dass bei Bildung von 1 gr. Kohlensäure allemal dieselbe Wärmemenge frei werde, mag der zugehörige Kohlenstoff vorher frei oder Bestandtheil einer Verbindung gewesen sein. Für uns hat es heute keine Schwierigkeit, dies einzusehen. Lassen wir beispielsweise 44 gr. Kohlensäure entstehen durch Verbrennung von 30 gr. Zucker mit 32 gr. Sauerstoff. Der zugeführte Sauerstoff wird sich sämmtlich mit 12 gr. im Zucker enthaltenen Kohlenstoffes verbinden, gleichwohl aber ist auf unserem Standpunkte leicht ersichtlich, dass hier eine ganz andere, vielleicht viel bedeutendere chemische Arbeit geleistet wird, als wenn 12 gr. freies Kohlenstoffes sich mit 32 gr. Sauerstoff zu 44 gr. Kohlensäure verbinden, denn bei der Verbrennung des Zuckers gehen ja auch noch die Sauerstoff- und Wasserstoff-Atome in engere Verbindung ein, als in welcher sie schon vorher als Bestandtheile des Zuckers gewesen sind. In der That liefern 30 gr. käuflichen Traubenzuckers nach den Versuchen von Frankland trotz der mineralischen Verunreinigungen 98 Wärmeeinheiten bei ihrer Verbrennung, während 12 gr. C frei verbrannt nur 96 Wärmeeinheiten liefern können.

Nach diesen Betrachtungen sind wir durch die Ergebnisse von Dulong und von Despretz nicht mehr zu dem Schlusse gezwungen, dass ausser den chemischen Kräften noch eine Lebenskraft an den Molekulen des Körpers gearbeitet habe. Wir sehen aber auch, dass die Aufstellung der Kraftbilanz eines höheren Organismus keine

so einfache Sache ist, wie sich Dulong und Despretz dachten, man hat eben nicht bloss nöthig zu wissen, wie viel Kohlensäure und wie viel Wasser auf Kosten von freiem Sauerstoff gebildet worden ist, sondern man muss genau wissen, welche chemische Verbindungen während der Zeit, auf die sich unsere Bilanz beziehen soll, im Körper überhaupt Umsetzungen erlitten haben, und man muss alle Producte dieser Umsetzungen, nicht bloss einige, kennen. Dazu aber müsste man noch wissen, wie viel Wärme frei wird, wenn wir dieselben Verbindungen ausserhalb des Organismus in derselben Weise zersetzten. Diese Wärmemenge wäre dann zu vergleichen mit der von dem lebenden Organismus wirklich gelieferten.

Es ist bis heute noch kein einziges Experiment gemacht, welches allen den gestellten Anforderungen entspricht, wir müssen desshalb viele Lücken unserer thatsächlichen Kenntniss einstweilen durch Vermuthungen ausfüllen, wenn wir einmal versuchen wollen, die Kraftbilanz für den menschlichen Körper aufzustellen. Sehen wir uns zunächst um nach den Krafteinnahmen. Als solche wären zu bezeichnen die chemischen Spannkräfte zwischen den Molekulen der Nahrungsmittel und des aus der Luft absorbirten Sauerstoffes, welche innerhalb des Körpers als solche verloren gehen, indem die gegenseitige Anziehung der genannten Molekule bei ihrer Verbindung Arbeit leistet. Wenn wir diese verlorenen chemischen Spannkräfte schätzen wollen, müssen wir die Stoffeinnahmen und Stoffausgaben vergleichen, um zu beurtheilen, welche Verbindungen innerhalb des Körpers stattgefunden haben. Da wir doch in vieler Beziehung auf Vermuthungen angewiesen sind, so will ich bei der Aufzählung der eingeführten und ausgeführten Stoffe mich auch nicht an einen bestimmten individuellen Fall halten, sondern aus verschiedenen Bestimmungen abgeleitete Durchschnittszahlen geben. Ein erwachsener, etwa 70 Kilo wiegender Mann führt im Laufe von 24 Stunden bei guter Ernährung vielleicht durchschnittlich folgende Stoffe ein: mit Speise und Trank etwa 117 gr. eiweissartige Stoffe, 120 gr. Fett, 263 gr. Stärke oder Zucker, 2627 gr. Wasser und 19 gr. Salze. Dazu etwa 713 gr. Sauerstoff durch die Respiration aus der Luft. Die Elemente der aufgezählten Stoffe scheiden nun grossentheils in ganz anderer Gruppirung aus. Das Fett und das Stärkemehl wird höchst wahrscheinlich bis auf ganz kleine Reste Fett — schätzen wir 4 Gramm — welche an der Hautoberfläche abfallen, vollständig verbrannt, die dabei gebildete Kohlensäure verlässt den Körper durch die Lungen und das dabei entstehende Wasser kann je nach Umständen durch die Lungen, durch die Haut

oder durch die Nieren als Harn den Körper verlassen. Von den aufgenommenen eiweissartigen Stoffen scheidet ein Theil zwar nicht unverändert aber doch wahrscheinlich ohne sehr tiefgreifende Zersetzungen erlitten zu haben, durch den Darmkanal als Kothbestandtheil aus. Die chemischen Processe, durch welche diese Exkretionsstoffe aus den aufgenommenen Nahrungsmitteln entstehen, können wahrscheinlich bei der Kraftbilanz ganz aus der Rechnung weggelassen werden, weil bei ihnen keine sehr energischen Verwandtschaften zur Wirkung kommen. Wir können daher vielleicht etwa 30 gr. von den eiweissartigen Stoffen sogleich in Abzug bringen, die so gut wie unzersetzt den Körper wieder verlassen. Der Rest, etwa 87 gr. eiweissartige Stoffe, verfällt einer weitergehenden, wenn auch nicht ganz vollständigen Verbrennung, ihre Producte sind einerseits Kohlensäure und Wasser, andererseits verschiedene sehr stickstoffreiche Verbindungen, vorzugsweise Harnstoff, welche die Hauptmasse der festen Harnbestandtheile ausmachen.

Durch die neueren Bestimmungen von Frankland sind wir in den Stand gesetzt zu berechnen, wie viel Wärme bei den soeben angegebenen Processen frei werden würde, wenn dieselben ausserhalb des lebenden Körpers verliefen. Nach diesen Bestimmungen werden bei Verbrennung von 1 gr. Eiweiss bis zur Harnstoffstufe 4,3 Wärmeeinheiten frei, bei vollständiger Verbrennung von 1 gr. Ochsenfett 9 Wärmeeinheiten und bei vollständiger Verbrennung von 1 gr. Stärkemehl etwa 4 Wärmeeinheiten. Legen wir die vorhin angenommenen Mengen zu Grunde, so haben wir an Krafteinnahmen:

aus der Zersetzung von 81 gr. Eiweissstoff	374	W. E.
aus der Zersetzung von 116 gr. Fett	1044	„
aus der Zersetzung von 263 gr. Stärkemehl	1052	„
Summa	2470	„

Wie verhalten sich nun dazu die Kraftausgaben des Menschen? wir wollen zunächst den einfacheren Fall in's Auge fassen, wo ausschliesslich nur Kraft in Form von Wärme auf andere Körper übertragen wird. Soviel mir bekannt ist, besitzen wir weiter keine kalorimetrische Versuche am menschlichen Körper als die vor etwas über 10 Jahren von Hirn in Colmar angestellten. Er fand, dass seine Versuchspersonen im wachen Zustande durchschnittlich per Stunde etwa 158 Wärmeeinheiten abgaben. Wir haben nun Grund anzunehmen, dass während des Schlafes die Wärmeproduction bedeutend geringer ist, als während des Wachens, nehmen wir an, halb so stark. Rechnen wir 16 wache Stunden und 8 Stunden Schlaf, so hätten wir

aus Hirn's Versuchen zu folgern, dass die Kraftausgaben eines erwachsenen Menschen durchschnittlich etwa 3166 Wärmeeinheiten betragen dürften. Diese Zahl differirt allerdings nicht unbeträchtlich von der vorhin als Summe der Krafteinnahmen berechneten, nämlich 2444 WE., aber wenn wir die zahlreichen Fehlerquellen berücksichtigen, welche auf beide Rechnungen einfliessen, so können wir uns doch schon mit der gefundenen entfernten Uebereinstimmung begnügen, und zufrieden sein, dass nicht die eine Grösse noch mehr von der andern abweicht, welche ihr gleich sein sollte.

Die im menschlichen Körper erzeugte lebendige Kraft muss nun nicht ausschliesslich in der Form von Wärme nach aussen abgegeben werden. Wir besitzen vielmehr in unserem Körper eigenthümliche Vorrichtungen — die Muskeln — vermöge deren es möglich ist, ähnlich wie in einer Dampfmaschine oder in einer elektro-magnetischen Kraftmaschine, chemische Spannkraft zu verwandeln in Bewegung zusammenhängeuder Massen oder in einen Vorrath disponibeler mechanischer Arbeit.

Die Thatsache, dass wir mit unseren Muskeln solche mechanische Effekte wie Bewegung von Massen oder Hebung von Lasten erzielen können, haben wir jederzeit vor Augen und dass es sich dabei eben nur um eine Transformation, nicht um eine Erschaffung der Kraft handelt, das kann von dem Standpunkte aus, den wir heute einnehmen, nicht mehr zweifelhaft sein.

Da wir nicht einmal wo Wärme allein nach aussen abgegeben wird, das Princip der Erhaltnug der Kraft in Beziehung auf den thierischen Körper genau experimentell bestätigen können, so kann natürlich noch viel weniger davon die Rede sein in den verwickelteren Fällen, wo die Kraftausgaben sich auf 2 Posten, auf abgegebene Wärme und auf übertragene mechanische Bewegung vertheilen. Danach hat man aber wenigstens gestrebt, experimentell zu beweisen, dass bei gleichem Stoffwechsel im Muskel mehr Wärme frei wird, wenn schliesslich keine andere Masse in Bewegung gesetzt oder keine Last gehoben ist, als wenn ein solcher äusserer mechanischer Effekt schliesslich erzielt worden ist. Dies ist ja in der That eine Forderung des Principes der Erhaltung der Kraft, denn wenn durch die Muskelarbeit ein äusserer mechanischer Effekt erzielt, z. B. eine Last erhoben ist, dann kann nicht die ganze den chemischen Umsetzungen entsprechende lebendige Kraft als Wärme frei werden. Umgekehrt muss dies der Fall sein, wenn keine anderen Effekte schliesslich bewirkt sind.

Es waren von verschiedener Seite Experimente im Grossen und im Kleinen angestellt worden, welchen der soeben entwickelte Ideengang zu Grunde liegt. Meiner Meinung nach ist aber keines s o ausgeführt, dass man nicht p r i n c i p i e l l e Einwendungen gegen seine Beweiskraft machen könnte. Ich habe deshalb selbst neuerdings Versuche derart gemacht und ich glaube, es ist mir gelungen, den in Rede stehenden Nachweis zu liefern. Ich liess einen Froschmuskel eine bestimmte Anzahl von Zuckungen ausführen, zweimal nacheinander unter sonst ganz genau gleichen Bedingungen, nur mit dem Unterschiede, dass im ersten Falle die bei jeder Zuckung gehobene Last auch wirklich auf der Höhe blieb, dass sie dagegen im zweiten Falle immer wieder herabsank, so dass schliesslich kein mechanischer Effect erzielt war. Durch feine thermoelectrische Apparate wurde die bei den Zuckungen stattfindende Erwärmung des Muskels bestimmt. Es zeigte sich nun in der That, dass im zweiten Falle m e h r Wärme frei wurde als im ersten.

Eine der interessantesten Fragen, welche wir die Muskelsubstanz betreffend von unserem Standpunkte aus zu stellen haben, ist nun die, durch Vermittelung welcher Zwischenglieder in diesem wunderbaren Gewebe die Arbeit der chemischen Spannkräfte mechanische Massenbewegung erzielt? Man hat häufig die Muskulatur des thierischen Leibes, resp. des Menschen, mit einer Dampfmaschine verglichen und dieser Vergleich ist in der That in vieler Beziehung sehr zutreffend und lehrreich. Im menschlichen Leibe, wie in der Dampfmaschine, verbrennen unter Zutritt des atmosphärischen Sauerstoffes kohlenstoffreiche Verbindungen und es entstehen in beiden Veranstaltungen grossentheils übereinstimmende Verbrennungsprodukte, namentlich Kohlensäure und Wasser. Im menschlichen Leib wie in der Dampfmaschine bildet freie Wärme den überwiegend grössten Theil der durch die chemische Arbeit erzielten Bewegung. Im menschlichen Leib wie in der Dampfmaschine wird ein Theil der chemischen Arbeit auf mechanische Wirkungen verwandt, und es können endlich in beiden Veranstaltungen die mechanischen Effekte ganz oder zum Theil wieder in Wärme zurückverwandelt werden, unter Vermittelung von Reibung und anderen Processen.

Sollte nun vielleicht der Vergleich mit der Dampfmaschine auch in d e m Punkte zutreffend sein, dass im Muskel wie in der Dampfmaschine die Arbeit der chemischen Kräfte zunächst n u r W ä r m e erzeugt und dass von dieser dann erst ein Theil in mechanische Bewegung ganzer Massen verwandelt, oder mit anderen Worten, dass auch im Muskel die W ä r m e das Zwischenglied wäre bei der Ver-

wandlung von chemischer Spannkraft in mechanische Bewegung? Diese Frage können wir ganz sicher mit „Nein" beantworten.

Der Muskel kann unmöglich eine thermo dynamische Maschine sein — so nennt man jede Veranstaltung zur Verwandlung von Wärme in mechanischen Effekt. Dass der Muskel sicher keine solche Veranstaltung ist, lässt sich auf folgende Art beweisen. Durch gewisse Betrachtungen, die uns hier zu weit führen würden, lässt sich zeigen, dass etwa $^1/_5$ der ganzen im menschlichen Körper geleisteten chemischen Arbeit zu Erzielung von äusseren mechanischen Effecten verwandt werden kann. Würde also zunächst durch die ganze chemische Arbeit Wärme als solche erzeugt, so könnten wir sagen, dass von der ganzen verfügbaren Wärme $^1/_5$ in mechanischen Arbeitsvorrath verwandelt und nur $^4/_5$ als Wärme an die Umgebung übertragen würde. Nun lässt sich aber mit Hülfe des von Clausius gefundenen, freilich nicht leicht anschaulich darstellbaren zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie zeigen, dass in einer thermodynamischen Maschine $^1/_5$ der ganzen disponibelen Wärme in mechanische Kraft nur verwandelt werden kann, wenn die übrigen $^4/_5$ von einem Körper von sehr hoher Temperatur auf einen Körper von viel niedrigerer Temperatur übergehen. Solche Temperaturdifferenzen, wie sie hiezu erforderlich wären, kommen aber im Bereiche eines lebenden Muskels niemals vor. Die mechanische Kraft des Muskels ist also keinesfalls direct aus Wärme entstanden. Viel wahrscheinlicher und keinem principiellen Einwande ausgesetzt wäre der Gedanke, dass im Muskel die chemische Arbeit mechanische Kraft erzeugte unter Vermittelung elektrischer Processe, dass mit einem Worte der Muskel eine elektrodynamische Maschine wäre. Diese Annahme findet noch einen bedeutsamen Anhalt an den merkwürdigen von du Bois-Reymond entdeckten elektromotorischen Wirkungen des Muskelgewebes. Wenn wir auch gerade noch nicht im Stande sind, auf diese Erscheinungen eine mechanische Theorie der Muskelkontraction zu gründen, so werden wir doch die Vermuthung nicht von der Hand weisen können, dass elektrische Kräfte den Muskel bewegen, wenn wir die Spuren solcher Kräfte deutlich vor uns sehen, so gut wie wir vermuthen, dass eine Fabrik mit Dampf getrieben wird, wenn wir einen hohen rauchenden Kamin an derselben aufsteigen sehen.

Schliesslich wollen wir noch die in jüngster Zeit viel besprochene Frage aufwerfen, welche von den vorhin aufgeführten chemischen Processen zur Erzeugung der mechanischen Muskelkraft führen. Der

Umstand, dass die Muskelfaser vorwiegend aus eiweissartigen Verbindungen aufgebaut ist, hat oft die Meinung veranlasst, dass die Verbrennung der eiweissartigen Verbindungen ausschliesslich zur Erzeugung der mechanischen Muskelkraft führen könne. Da aber in der Muskelfaser auch die Fette und zuckerartigen Verbindungen keiner Zeit ganz fehlen, so wäre es wohl möglich, daran zu denken, dass diese Verbindungen das krafterzeugende Brennmaterial ausmachen, während die eiweissartigen Verbindungen gewissermassen nur das Baumaterial der Maschine bildeten. Der Vergleich mit einer Dampfmaschine, z. B. mit einer Lokomotive, kann dies gut anschaulich machen. Eine solche besteht zum überwiegend grössten Theil aus Eisen, Stahl und andern Metallen und enthält jederzeit nur wenig Kohle auf dem Heerd. Man würde aber doch offenbar logisch fehlen, wollte man hieraus folgern, dass die Verbrennung von Eisen und Stahl und nicht die Verbrennung der in jedem Augenblick nur spärlich vertretenen Kohle die Kraft der Lokomotive erzeuge.

Dass die stickstofffreien Verbindungen und nicht die Eiweisskörper das kraftgebende Brennmaterial im Muskel sind, ist schon von verschiedenen Seiten vermuthet worden. Den ersten Fingerzeig in dieser Richtung hat Liebig gegeben, indem er die stickstoffsfreien Nahrungsstoffe als Heizmaterial bezeichnete. Bestimmt ist aber die in Rede stehende Vermuthung zuerst von Moritz Traube vor etwa 10 Jahren ausgesprochen. Sie wird schon sehr wahrscheinlich gemacht durch folgende teleologische Erwägung. Im Gesammtstoffwechsel bilden, wie wir schon vorhin sahen, die stickstofffreien Verbindungen den bei weitem massenhaftesten Posten. Wir werden daher ihre Zersetzung wohl auch mit der Hauptfunktion des lebenden Körpers, mit der Muskelarbeit in Beziehung zu setzen geneigt sein.

Durch Versuche, die ich vor vier Jahren in Gemeinschaft mit meinem Freunde Wislicenus ausgeführt habe, ist aber unsere Vermuthung ausser allen Zweifel gestellt. Wir haben nämlich gezeigt, dass der Betrag der mechanischen Leistung eines Menschen grösser sein kann als das mechanische Aequivalent der Wärme, welche durch Verbrennung der während dieser Leistung zersetzten eiweissartigen Verbindungen selbst unter den übertriebensten Annahmen erzeugt gedacht werden kann. Also muss die Muskelkraft wenigstens zum Theil durch Verbrennung stickstoffloser Verbindungen entstehen. Die Beweiskraft unserer Versuche ist noch bedeutend gesteigert durch die vorhin schon erwähnten Bestimmungen der Ver-

brennungswärme des Eiweisses, welche Frankland, durch unsere Versuche angeregt, unternommen hat.

Fassen wir noch einmal das Hauptergebniss unserer heutigen Betrachtungen zusammen, so ist es dieses: Die thierischen Körper erzeugen Wärme und mechanische Kraft auf Kosten der Verbrennung kohlenstoffreicher Verbindungen im atmosphärischen Sauerstoffe. So gross nun auch der Vorrath an diesen beiden Erfordernissen des thierischen Lebens an der Erdoberfläche ist, so würde er doch von den zahllosen Thieren im Laufe der Jahrtausende aufgezehrt oder so weit gemindert werden, dass die Lebensprocesse ins Stocken kämen. Dies ist aber entschieden nicht der Fall. Soweit die historische Ueberlieferung zurückreicht, hat sich der Gehalt der Atmosphäre an freiem Sauerstoff sicher um keine merkliche Spur geändert. Die Kraftquelle der Thiere muss also immer neu gespeist werden, indem der Sauerstoff wieder vom Kohlenstoff getrennt und der Atmosphäre als freier Sauerstoff wiedergegeben wird. Dies kostet aber Arbeit und wenn wir fragen, welche Kräfte diese Arbeit verrichten, so werden wir geführt auf den Umsatz der Kräfte im Weltsystem.

Sechste Vorlesung.

Meine Herren!

Wir haben in der vorigen Vorlesung gesehen, dass in den lebenden Thieren Wärme und mechanische Bewegung erzeugt wird auf Kosten von chemischer Spannkraft zwischen freiem Sauerstoff und kohlenstoffreichen organischen Verbindungen. Das thierische Leben müsste also diesen Vorrath chemischer Spannkräfte an der Erdoberfläche allmählich mindern und schliesslich ganz erschöpfen, wenn derselbe nicht immer wieder ergänzt würde. Wir sahen schon in der vorigen Vorlesung, dass dies faktisch geschieht, denn es wird im Laufe der Zeit weder der Vorrath freien atmosphärischen Sauerstoffs, noch der Vorrath jener kohlenstoffreichen organischen Verbindungen, die den Thieren zur Nahrung dienen, merklich kleiner, und es wird andererseits auch nicht die an der Erdoberfläche vorhandene Kohlensäure und Wassermenge grösser.

Es muss demnach, — so schlossen wir schon das letzte Mal — einen Process geben, welcher (dem thierischen Lebensprocess entgegengesetzt) immer wieder den Sauerstoff vom Kohlenstoff und vom Wasserstoff trennt und den ersteren frei der Atmosphäre wiedergibt. Man sieht auf den ersten Blick, dass dieser Process kein anderer sein kann als der Vegetationsprocess der Pflanzenwelt, denn aus dieser entnimmt ja das Thierreich den ganzen Vorrath jener kohlenstoffreichen Verbindungen, die ihm zur Nahrung dienen. Allerdings nähren sich einige Thiere von andern Thieren, aber auch sie — die

Fleischfresser — entnehmen mittelbar doch auch ihre Nahrung dem Pflanzenreich, denn die ihnen zur Beute dienenden Thiere können die verwickelten organischen Nährstoffe nicht aus den einfacheren Verbindungen bilden, sie können dieselben nur aus den Pflanzen fertig gebildet beziehen.

Wenn nun Sauerstoff vom Kohlenstoff und Wasserstoff in den Pflanzen abgeschieden werden soll, so muss ihnen in irgend einer Form Kraft zugeführt werden, welche in ihnen transformirt wird in chemische Spannkraft. Es ist eine längst bekannte Thatsache, die ich in diesen Vorlesungen auch schon erwähnt habe, in welcher Form den Pflanzen diese Kraft zugeht. Es ist nämlich die Kraft der Sonnenstrahlung, welche in den Pflanzen Sauerstoff aus Kohlensäure und Wasser abspaltet. Dem Princip der Erhaltung der Kraft wird bei diesem Vorgange folgendermassen genügt. Wenn während einer Zeiteinheit auf eine Flächeneinheit grüner Pflanzenoberfläche die Sonnenstrahlung fällt, so wird weniger Wärme entwickelt, als wenn die Sonnenstrahlung während der Zeiteinheit auf eine Flächeneinheit lebloser Substanz von gleichem Reflexions- und Absorptionsvermögen fiele, weil eben in der Pflanze durch die Bestrahlung der Vorrath von chemischen Spannkräften vermehrt wird, indem Sauerstoff der anziehenden Kraft entgegen vom Kohlenstoff und Wasserstoff getrennt wird.

Diese Betrachtung führt uns in den Kräftehaushalt des Weltgebäudes, sie legt uns namentlich die Frage nahe: Sollte die Sonne den kolossalen Verlust an Bewegungskraft, den sie fortwährend durch die ungeheure von ihr ausgesandte Strahlung erleidet — sollte sie diesen Verlust bestreiten können aus einem ihr ein für allemal innewohnenden Vorrath, ohne dass die Abnahme desselben für uns merklich werden müsste? oder sind wir gezwungen anzunehmen, dass der Sonne der durch Strahlung erlittene Verlust an Bewegung fortwährend von aussen her ersetzt wird und wie? Auf diese merkwürdige Frage hat der geniale Julius Robert Mayer eine ebenso wohlbegründete als überraschende Antwort gegeben. Ich will Ihnen seinen Gedankengang in Kürze vorführen.

Nach den Messungen von Pouillet repräsentirt die auf die ganze Erdoberfläche in der Minute fallende Sonnenstrahlung ein Bewegungsquantum aequivalent 2247 Billionen Wärmeeinheiten. Nennen wir, um mit kleineren Zahlen rechnen zu können, die Wärmemenge, durch

welche die Temperatur einer Kubikmeile Wasser um 1° C. erhöht wird, kurzweg eine „Wärmekubikmeile", so wird der von den Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche in einer Minute ausgeübte Effekt durch 5,5 Wärme-Kubikmeilen ausgedrückt.

Denkt man sich jetzt um die Sonne eine Hohlkugel, beschrieben mit der Entfernung der Erde von der Sonne als Radius, so macht von der Oberfläche dieser Kugel die Durchschnittsfläche der Erde den 2300 millionten Theil aus. Der ebensovielte Theil vom Gesammteffekt der ganzen Sonnenstrahlung ist aber offenbar der vorhin ausgedrückte Effekt der Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche. Hiernach beläuft sich der ganze strahlende Effekt der Sonne per Minute auf 12,650 Millionen Wärme-Kubikmeilen.

Ich fahre mit Mayer's eigenen Worten fort:

„Bei dieser erstaunlichen Ausstrahlung müsste ein Körper auch „von der Grösse unserer Sonnenkugel in Bälde sich abkühlen, wenn „nicht ein angemessener Wiederersatz stattfände."

„Wird nämlich die Wärmecapacität der Sonnenmasse dem Volum „nach gerechnet gleich der des Wassers, das unter allen bekannten „Materien die grösste Wärmecapacität besitzt, angenommen und denkt „man sich zugleich den Wärmeverlust, den die Sonne durch Strahlung „erleidet, auf ihre ganze Masse gleichmässig vertheilt, so ergibt sich „für dieselbe eine jährliche Abkühlung von 1°,8, wonach die Sonne „in der geschichtlichen Zeit von 5000 Jahren eine Temperaturabnahme „von 9000° erlitten haben müsste."

„Uebrigens ist an eine gleichmässige Durchkühlung der ganzen „ungeheuren Masse natürlich nicht zu denken, vielmehr müsste die „Sonne, wenn ihre Ausstrahlung nur auf Kosten eines einmal gege- „benen Vorrathes von Wärme oder von strahlender Kraft erfolgen „sollte, offenbar in kurzer Frist sich mit einer erkalteten Kruste über- „ziehen, womit die Strahlung ein Ende hätte. Die durch eine unge- „zählte Reihe von Jahrtausenden fortdauernde Thätigkeit der Sonne „lässt also mit mathematischer Gewissheit auf einen dem grossartigen „Verbrauche entsprechenden Wiederersatz schliessen. Liegt dieser „Wiederersatz in einem chemischen Processe?"

„Nehmen wir, um dieser Vermuthung soviel nur irgend möglich „einzuräumen, die ganze Sonnenmasse für einen Klumpen Steinkohlen, „wovon jedes Kilogramm 6000 Wärmeeinheiten durch Verbrennung „liefert, so wäre die Sonne nicht weiter als 46 Jahrhunderte lang im „Stande durch ihren Brand den genannten Wärmeaufwand zu bestreiten —

„des zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffes und noch manches ent-„gegenstehenden Umstandes nicht zu gedenken.“

Mayer prüft dann noch eine zweite Hypothese, die man wohl hie und da ausgesprochen hat, wonach die Sonnenwärme erhalten werden sollte durch die Reibung, welche die Sonnenoberfläche bei der Axendrehung an einem hypothetischen umgebenden Medium erlitte. Er zeigt, dass bei den bekannten Abmessungen der Sonne und ihrer Rotationsgeschwindigkeit der ganze Rotationseffekt dieses Körpers nur hundert drei und achtzig Jahre lang genügen könnte, um seinen Wärmebedarf zu decken.

Da diese Kraftquellen offenbar nicht genügen, so greift Mayer zu einer ganz neuen Hypothese. Der Weltraum im Anziehungsbereiche unserer Sonne ist bevölkert mit einer grossen Anzahl ponderabeler Massen. Diese müssen nach dem Gravitationsgesetze in geschlossenen Bahnen um die Sonne kreisen, wofern ihre Bewegung ohne jeden Widerstand erfolgt. Wenn aber ein solcher vorhanden ist — er mag noch so klein sein — dann müssen diese Massen eine spiralartige Bahn von immer engeren Umläufen beschreiben und unfehlbar zuletzt auf die Sonne herabstürzen.

„Alle diese Massen“ — so fährt Mayer wörtlich fort — „stür-„zen mit einem heftigen Stosse in ihr gemeinsames Grab. Da nun „keine Ursache ohne Wirkung besteht, so muss auch jede dieser „kosmischen Massen ebenso wie ein zur Erde fallendes Gewicht durch „ihren Stoss eine ihrer lebendigen Kraft proportionale Wirkung, eine „gewisse Menge von Wärme hervorbringen.“

„An die Vorstellung also von einer den weiten Himmelsraum „durch Anziehung beherrschenden Sonne, von allenthalben im Uni-„versum verbreiteten wägbaren Materien und von einer die Welt „erfüllenden widerstandleistenden aetherischen Substanz, an diese Vor-„stellungen knüpft sich mit innerer Nothwendigkeit eine andere, näm-„lich die von einer fortlaufenden unerschöpflichen Erzeugung von „Wärme auf dem Centralkörper dieses kosmischen Systemes.“

„Ob nun eine solche Vorstellung in unserem Sonnensystem reali-„sirt, ob mit andern Worten die immerwährende wundervolle Licht-„und Wärmeentwicklung eine Wirkung kosmischer Materien ist, die „sich ohne Unterbrechung in die Sonne stürzen, diese Frage soll jetzt „einer näheren Prüfung unterworfen werden.“

„Was zuerst die Existenz von Urmaterien betrifft, die im Welt-„raum schweben und der Massenanziehung des nächstgelegenen Stern-„systemes anfänglich mit äusserster Langsamkeit folgen sollen, so

„werden die Astronomen und Physiker wohl kaum eine solche in „Abrede zu ziehen geneigt sein. Im Raume des Sonnensystemes be„wegen sich ausser den jetzt bekannten 14 Planeten und deren „18 Trabanten noch eine sehr grosse Anzahl anderer Himmelsmassen, „von welchen die Kometen zunächst Erwähnung verdienen.“

„Keplers berühmter Ausspruch: „es gibt mehr Kometen im Him„melsraume als Fische im Ocean“ gründet sich auf die Thatsache, „dass nur ein sehr geringer Theil von der Gesammtzahl der Kometen „unseres Sonnensystemes in ihrem Laufe den Erdenbewohnern zu „Gesichte kommen kann, und dass mithin nach den Regeln der „Wahrscheinlichkeitsrechnung aus der nicht unbeträchtlichen Zahl wirk„lich beobachteter Kometen noch auf eine weit grössere Masse solcher „geschlossen werden muss, die sich ausser unserem Gesichtskreise „bewegen.“

„Neben den Planeten, Monden und Kometen gibt es aber in „unserm Sonnensysteme noch eine weitere Kategorie von Himmels„körpern. Es sind dieses geballte Massen, die ihrer verhältnissmässig „ausserordentlich geringen Grösse wegen als kosmische Atome ange„sehen werden können, und denen Arago den passenden Namen „Asteroiden“ gegeben hat. Wie die Planeten und Kometen, so folgen „auch sie den Gesetzen der Schwere und umkreisen in elliptischen „Bahnen die Sonne. Sie sind es, die, wenn sie durch Zufall in die „unmittelbare Nähe der Erde kommen, das sich unaufhörlich wieder„holende Schauspiel der Sternschnuppen und Feuerkugeln darstellen. *)

„Wie schon erwähnt wurde, hängt es von der Existenz eines „Widerstand leistenden Aethers ab, ob diese Himmelskörper, Planeten, „Kometen, Asteroiden, in gleichbleibenden mittleren Entfernungen die „Sonne umkreisen, oder ob sie alle in einer beständigen Annäherung „an den Centralkörper begriffen sind.“

„Einen direkten Beweis von dem Vorhandensein eines solchen „Widerstandes hat der Akademiker Encke geliefert, indem er nach„gewiesen hat, dass der von ihm berechnete und nach ihm benannte „Komet, welcher in der kurzen Zeit von 1207 Tagen um die Sonne „läuft, eine regelmässige Beschleunigung seiner Bewegung zeigt, ver„möge deren sich seine Umlaufszeit jedesmal um ungefähr 6 Stunden „verkürzt.“

---

*) Neuerdings hat man bekanntlich die Sternschnuppenschwärme als Reste von Kometen erkannt.

„Es ist der Natur der Sache angemessen, dass die Planeten ihrer „ausnehmenden Grösse und Dichtigkeit wegen eine nur sehr langsame „und bis jetzt unmerkliche Verminderung ihres Bahndurchmessers „erfahren. Dagegen müssen sich die kleineren kosmischen Massen unter „sonst gleichen Umständen in dem Maasse der Sonne rascher nähern, „je kleiner ihr körperlicher Durchmesser ist und es kann mithin ge„schehen, dass in einem Zeitraume, in welchem der mittlere Abstand „der Erde von der Sonne um ein Meter abnimmt, ein kleines Asteroid „einen Weg von mehr als tausend Meilen gegen die Sonne zurück„legt."

Es ist nicht schwer zu berechnen, mit welcher Geschwindigkeit eine auf die Sonne herabstürzende kosmische Masse auf der Oberfläche derselben ankommen muss. Sie ergibt sich zu etwa 60—85 Meilen per Sekunde d. h. zu mindestens 445750 bis 630400 Meter per Sekunde, je nachdem man die Entfernung aus welcher sie kommt, grösser oder kleiner annimmt. Eine kosmische Masse, welche an der Erdoberfläche gewogen 1 Kilogramm wiegen würde, käme also auf der Sonnenoberfläche an mit einer lebendigen Kraft von 9.945.800000 bis 19.845.000000 Einheiten. Wenn diese lebendige Kraft durch den Anstoss gegen die Sonnenoberfläche in Wärme umgesetzt wird, so ergibt sich eine Wärmemenge von 27 bis 55 Millionen-Einheiten. Bei dieser Berechnung liegt übrigens die ältere Schätzung Mayer's vom mechanischen Aequivalent der Wärme zu Grunde. Ein auf die Sonne herabfallendes Meteor erzeugt also durch seinen Anprall 4600 bis 9200 mal mehr Wärme als eine gleiche Menge Steinkohlen bei ihrer Verbrennung erzeugen würde.

Da wir wissen, wie viel Wärme die Sonne in jeder Minute ausstrahlt, so können wir jetzt leicht berechnen, wie viel Meteormasse jede Minute auf die Sonne herabfallen muss, wenn der Sonne ihr Wärmeverlust immer wieder ersetzt werden soll.

Es ergiebt sich auf diese Weise, dass jede Minute zwischen 94000 und 188000 Billionen Kilogramme Meteormasse auf die Sonne niederstürzen müssen, um ihren Wärmeverlust zu ersetzen.

Diese Zahl klingt allerdings unglaublich und es scheint, als ob die Mayersche Theorie der Sonnenwärme an dieser Konsequenz scheitern müsse. Denn — so wird man fragen — sollte es denkbar sein, dass die Sonne jede Minute um eine solche Masse wachsen könnte, ohne dass sich dies Wachsthum in einer Vergrösserung des

scheinbaren Durchmessers der Sonne zu erkennen gäbe? Hieranf ist aber doch mit „Nein" zu antworten. Die Vergrösserung des Sonnendurchmessers würde bei der kolossalen Oberfläche der Sonne trotz des massenhaften Meteorsteinhagels doch in historischen Zeiten nicht merklich gewesen sein. Man kann nämlich aus den erwähnten Daten leicht berechnen, wie lange der Meteoritenhagel andauern müsste, um die Sonne so viel zu vergrössern, dass ihr Durchmesser unter einem um eine Bogensekunde grösseren Gesichtswinkel erschiene. Nimmt man das specifische Gewicht der meteorischen Massen gleich dem der Sonne, so ergiebt sich, dass 33000—66000 Jahre erforderlich wären zur Vergrösserung des scheinbaren Sonnendurchmessers um eine Bogensekunde, welche Winkelgrösse etwa die Genauigkeitsgrenze astronomischer Messungen bildet.

Wir sehen also, dass die Mayersche Theorie von der Entstehung der Sonnenwärme keineswegs zu der absurden Konsequenz führt, dass die Sonne zusehends wachsen müsse. Noch leichter zu widerlegen ist der Einwand, welchen man etwa erheben könnte, es befänden sich gar nicht genug meteorische Massen in der Nähe der Sonne, um ihr die erforderliche Nahrung zu liefern. Man denke nur daran, wie viele Meteormassen sich in der Nähe der Erde umhertreiben. In einer hellen Nacht vergehen selten 20 Minuten, ohne dass über einem beliebig gewählten Horizonte eine Sternschnuppe sichtbar wird. Zu gewissen Zeiten aber sieht man sie wie Schneeflocken. Ohne Zweifel beläuft sich die im Laufe eines Jahres der Erde nahe kommende Zahl von Asteroiden auf viele Tausende von Millionen. Und wenn man nach den Principien der Wahrscheinlichkeit hieraus einen Schluss ziehen will auf die Zahl der um die Sonne treibenden Meteore, so verliert man sich geradezu ins Grenzenlose und wird gewiss nicht mehr geneigt sein, aus dem Mangel an meteorischen Massen einen Einwand gegen die Mayer'sche Theorie der Sonnenwärme zu machen. Im Gegentheil spricht Alles dafür, dass diese Theorie das Rechte trifft.

Ueberblicken wir vom Standpunkte derselben noch einmal den Umsatz der Kräfte im Universum: Wir waren ausgegangen von der thierischen Welt, hier sahen wir lebendige Kräfte entstehen und fanden ihre Quelle in chemischer Spannkraft zwischen Sauerstoff und Kohlenstoff; diese war gleichsam die gespannte Feder, deren Abspannung das Uhrwerk des thierischen Leibes im Gang hält. Wir sahen aber ferner, dass diese Feder immer neu gespannt wird, indem immer wieder Sauerstoff vom Kohlenstoff getrennt wird, mit dem er verbun-

den war. Wir sahen dass dies geschieht in den Pflanzen auf Kosten lebendiger Kraft, die von der Sonne uns zustrahlt. Wir überlegten weiter, dass die Sonne doch zuletzt erkalten müsse, wenn ihr nicht die durch Strahlung verlorene lebendige Kraft wieder ersetzt würde. Nach Erwägung verschiedener Möglichkeiten blieb uns nur die eine Annahme übrig, dass der Anprall schwerer Massen, die dem mächtigen Zuge der Gravitation folgend aus unermesslichen Höhen fortwährend auf die Sonne herabstürzen, ihr die durch Strahlung verlorene lebendige Kraft wieder ersetzen. Es ist gewiss merkwürdig, dass wir in der Anziehung, welche zwischen den Himmelskörpern im Weltenraume das Band knüpft, die eigentliche Kraftquelle erkennen auch für die kleinsten Processe an der Erdoberfläche. In der allgemeinen Gravitation hätten wir also schliesslich gewissermassen die gespannte Feder gefunden, welche das ganze Weltuhrwerk in Bewegung erhält. Kann auch diese Feder immer wieder von Neuem gespannt werden? und kann somit der Umsatz der Kräfte im Universum einen in sich selbst zurückkehrenden Cyklus bilden oder muss das Weltuhrwerk (wenn dies Bild gestattet ist) einmal ablaufen? Auf dem Standpunkte der Mayer'schen Theorie würde die Frage konkreter so lauten: Kann die durch den Anprall der Meteormassen an der Sonnenoberfläche erzeugte Wärme irgendwie dazu verwandt werden, um solche Massen von der Sonne weg wieder in unermessliche Ferne zu heben, so dass von Neuem das Spiel des Herabfallens und der Wärmeerzeugung beginnen könnte? Nur wenn dies möglich wäre, könnte man den Bestand der Welt in ihrer jetzigen Ordnung für ewig ansehen. Nur so wäre es denkbar, dass ein organisches Leben auf planetarischen Körpern in alle Ewigkeit bestehen könnte. Wir sehen nun in der That nicht, wie es zugehen sollte, dass endliche Massen wieder von der Sonne mit solcher Geschwindigkeit fortgeschleudert würden, dass sie bis in jene Höhen steigen, aus denen sie herabgefallen sind. Im Gegentheile lässt sich manches dafür geltend machen, dass dies geradezu unmöglich und undenkbar ist.

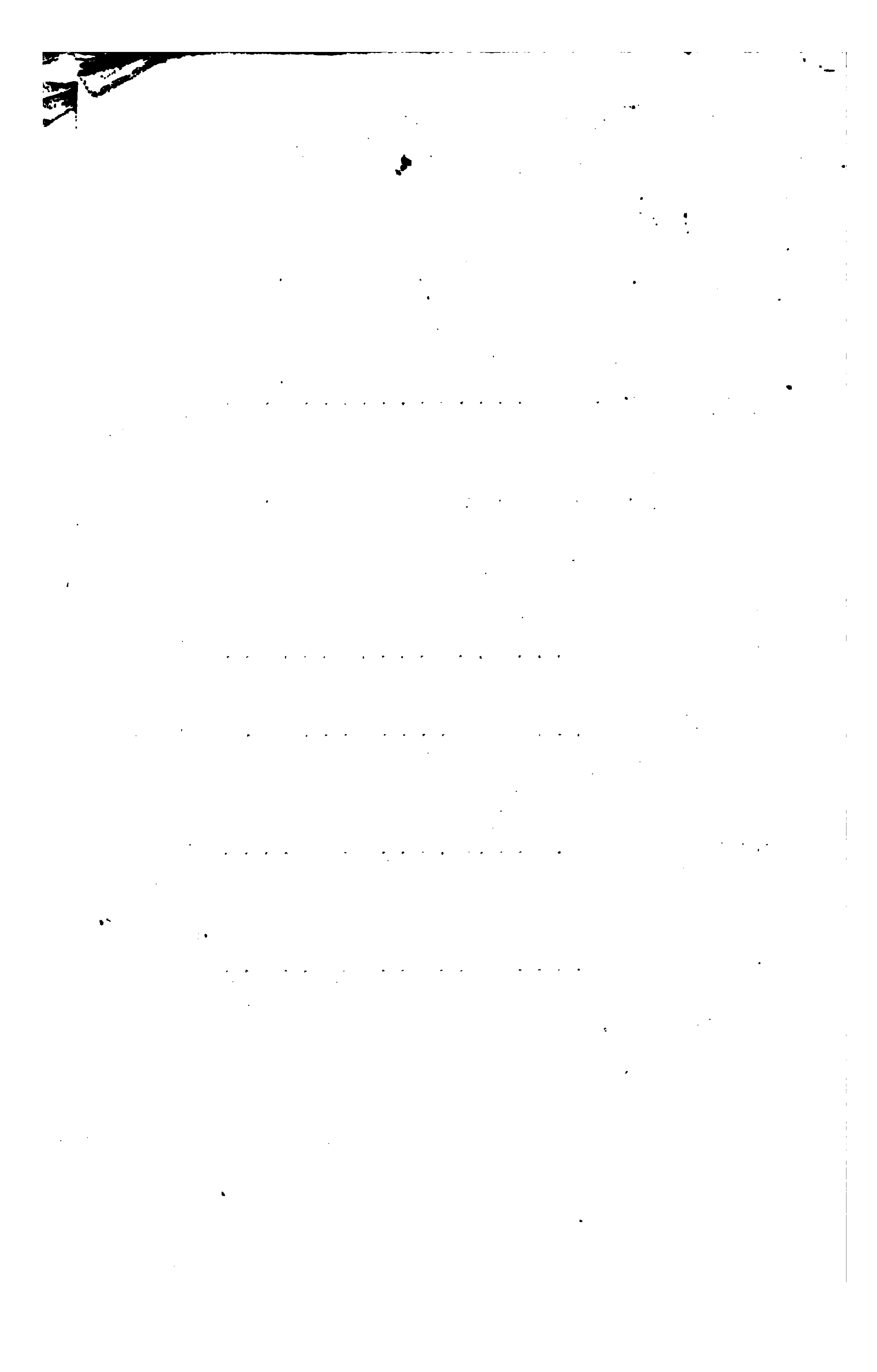
Clausius hat unter der Bezeichnung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie einen Satz aufgestellt und begründet, der die vorliegende Frage endgültig zu beantworten gestattet. Leider kann ich diesen merkwürdigen Satz hier nicht entwickeln, da dies nicht wohl ohne Anwendung des mathematischen Calculs angeht. Ich kann daher nur ohne Beweis die Behauptung aufstellen: Wenn der in Rede stehende zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie

ganz allgemein gültig ist, und namentlich auch Anwendung erleidet auf Temperaturen, wie sie an der Sonne und an anderen, vielleicht noch heisseren Himmelskörpern stattfinden, dann können wir ganz allgemein für das ganze Universum, nicht etwa bloss für das Sonnensystem, die Behauptung aufstellen, dass die einmal in Wärme verwandelte mechanische Spannkraft nie ganz in solche zurückverwandelt werden kann, und da die erstere Verwandlung fortwährend stattfindet, so müsste zuletzt alle Kraft im Universum die Form der Wärme annehmen und es müssten zugleich alle Temperaturdifferenzen in der Welt ausgeglichen werden. Die ganze Kette der physikalischen Vorgänge im Universum könnte alsdann unmöglich ein in sich zurückkehrender Cyklus sein, bei dessen immer wiederholtem Ablauf das Universum als Ganzes in einem ewig gleich bleibenden Zustande beharrte. Vielmehr käme dem Universum als solchem im Ganzen ein nach einem Ziele strebender Entwickelungsprocess zu.

Das Ziel wäre aber, wie schon gesagt, die Ausgleichung aller Temperaturunterschiede, also — im Sinne eines organischen Wesens — der allgemeine Tod. Dieser finale Zustand, der dann freilich ewiger Fortdauer fähig ist, würde aber nach Verfluss einer endlichen Zeit nahezu erreicht werden, von jedem beliebig gewählten Anfangszustande an gerechnet, der nicht unendliche Geschwindigkeiten oder unendliche Zerstreuung der Materie im Raume einschliesst d. h. von jedem Anfangszustande an gerechnet, der überhaupt gedacht werden kann. Es müsste also umgekehrt der finale Zustand jetzt schon erreicht sein, wenn die Welt von Ewigkeit her da wäre.

Wir sehen uns somit am Schlusse unserer Betrachtungen vor folgende bedeutsame Alternative gestellt: entweder sind bei den höchsten, allgemeinsten und fundamentalsten Abstraktionen der Naturwissenschaft wesentliche Punkte übersehen, oder — wenn diese Abstraktionen vollkommen streng und allgemein gültig sind — dann kann die Welt nicht von Ewigkeit her da sein, sondern sie muss in einem von heute nicht unendlich entfernten Zeitpunkt durch ein in der Kette des natürlichen Causalnexus nicht begriffenes Ereigniss d. h. durch einen Schöpfungsakt entstanden sein.

Inhalt.



Im ... iandlung in
Würzburg ... dlungen zu
beziehen:

mo ... nde

Ein ... s gekröntes
Werk. F ... tzen ausge-
stattet vor

myth ... tung

Herausgeber der Blätter für Anthropologie etc.
28 Bog. Lex.-8⁰. Preis fl. 3. 36. — Thlr. 2.

Die

Symbolik und Mythologie

der Natur.

Von

J. B. Friedreich.

1859. 49 Bogen in Lex.-8⁰. Preis fl. 4. 40 kr. — Thlr. 2. 20 Sgr.

Wir machen das Publikum auf dieses Werk aufmerksam, welches die mannigfaltigen Objekte der Natur (Wasser, Feuer, Mineralien, Pflanzen, Thiere u. s. w.) von einer ganz neuen und originellen Seite aus bearbeitet hat, d. i. von der symbolischen und mythologischen. So steht dieses, mit grosser Gelehrsamkeit und Scharfsinn bearbeitete Werk einzig in seiner Art da, und wird jedem gebildeten Leser einen Blick in das Wesen der Natur verschaffen, der ihm bisher noch nicht vergönnt war.



Photomount
Pamphlet
Binder
Gaylord Bros., Inc.
Makers
Stockton, Calif.
PAT. JAN. 21, 1908
B73 Fick, A. 73566
F44 Die Naturkraefte in
1869 ihrer Wechselbeziehun
NAME
DATE DU

